

식물공장 시설관리 시스템의 구현

이용웅*, 서범석**, 김찬우**, 김경희**, 박양호**, 신창선*

Implementation of Facility Management System for Plant Factory

Yong-Woong Lee*, Beom-Seok Seo**, Chan-Woo Kim**, Kyung-Hee Kim**, Yang-Ho Park**,
Chang-Sun Shin*

요약

본 논문에서는 미래농업의 핵심기술로 각광 받고 있는 식물공장의 안전하고 효과적인 운용을 위해, 식물공장 내부에 설치된 센서나 설비 장치가 정상적으로 작동하는지 실시간으로 진단하고, 내부 환경 및 설비의 제어상태를 모니터링 하는 식물공장 시설관리 시스템을 제안한다. 본 시스템은 데이터관리 모듈, 상황정보제공 모듈, 상황분석 모듈, 서비스제공 모듈, 정보저장소 모듈, 사용자 인터페이스 모듈로 구성된다. 이러한 각 모듈간의 상호작용을 통해 오작동 진단 서비스, 설비장치 제어 서비스, 고 신뢰성 모니터링 서비스를 제공한다. 오작동 진단 서비스는 식물공장 내부에 설치된 센서나 설비 장치의 오작동여부를 판단하고 관리자에게 통보하는 기능을 수행한다. 설비장치 제어 서비스는 설비의 오작동을 진단하는 과정에서 제어의 필요성이 판단 될 경우 해당 기기를 제어한다. 고 신뢰성 모니터링 서비스는 오작동 진단 서비스를 통해 검증된 데이터를 관리자에게 제공한다. 제안한 시스템의 시뮬레이션을 통하여 각 서비스가 정상적으로 동작함을 확인하였다.

▶ Keyword : 식물공장, 상황인지, 오작동진단, USN응용

Abstract

This paper suggests the Facility Management System for plant factory promising to be a core technology of the agriculture in the future. This system makes diagnoses that status from sensors or facilities in the factory for exact operation and monitors the internal environment with the control status in real-time. It is expected that we could operate a plant factory safely and effectively by using the system. The system consists of the data management module, the context provider module, the context interpreter module, the service provider module, the data storage and user interface. The system provide with the failure diagnosis service, the facility control service, and the high-reliability monitoring service via the interactions between above modules. The failure diagnosis service

• 제1저자 : 이용웅 교신저자 : 신창선

• 투고일 : 2010. 11. 05, 심사일 : 2011. 02. 09, 게재확정일 : 2011. 02. 15.

* 순천대학교 정보통신공학과(Dept. Information and Communication Engineering, Sunchon National University)

* 한국은실작물연구소(Korea Greenhouse Crop Research Institute)

※ 본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업으로 지원된 연구임.

determines whether the sensors or facility devices are in failure or not, and informs the administrator of their conditions. The facility control service is activated in case if the facilities need to be managed during the diagnosis for failure or malfunction processes. The high-reliability monitoring service provides the administrator with verified data through the failure diagnosis service. Then we confirmed that the suggested system operates correctly through the system simulation.

▶ Keyword : Plant Factory, Context-awareness, Failure Diagnosis, USN Application

I. 서론

현재 우리나라 농업은 계속되는 산업화 및 인구 노령화, 출산 감소 등으로 인해 농업을 생업으로 하는 인구가 줄어들고, 타 산업의 개발로 인해 경작면적이 줄어들고 있다. 또한, 기상이변으로 인한 노지재배의 피해로 인해 농산물의 안정적인 공급에 차질을 주고 있다. 그 결과 현재 우리나라의 식량 자급률은 25.3%로, 식량자급률이 100%를 웃도는 미국, 영국, 스웨덴, 독일 같은 선진국들과 큰 격차를 보이며, OECD (Organization for Economic Cooperation and Development : 경제협력개발기구) 30개 국가 중 26위라는 현실에 처해 있다 [1]. OECD와 FAO(Food and Agricultural Organization : 유엔식량농업기구)는 국제 식량 가격 상승에 따라 식량 자급도가 낮은 국가들의 식량 안보 위협은 계속 증가할 것이라고 전망했다. 따라서 이러한 식량 안보 문제의 해결은 무엇보다 중요한 연구 이슈이며, 최근의 연구문헌 조사에 의하면 식물공장이 이러한 식량 안보 문제 해결의 핵심 방법으로 주목을 받고 있다 [2, 3].

식물공장은 실내에서 식물의 생육환경(광, 온습도, 영양분)을 인위적으로 제어하여 계획생산이 가능한 농업시스템을 일컫는다. 이러한 식물공장은 식물성장에 필요한 환경적인 요소들을 각종 환경조성 장치들 통해 제공하며, 파종에서 수확까지 이루어지는 생산 공정은 첨단기술을 접목한 자동화 시스템이다. 식물공장의 특성상 실내에 많은 센서와 설비장치들로 구성될 수밖에 없으며 이러한 시설들을 효과적으로 관리하기 위해 식물공장내의 상황 정보의 수집 및 교환을 통해 상황을 인식하고, 해석 및 추론과 같은 처리 과정을 거쳐, 사용자에게 상황에 적절한 서비스를 제공하는 상황인지 개념을 적용할 필요가 있다 [4]-[8].

본 논문에서는 이러한 식물공장의 안정적인이고 효율적인 운영을 위해 식물공장 운영 중에 발생할 수 있는 센서나 설비 장치의 오작동을 상황인지 기술을 통해 검출하여 신뢰성 있는 모니터링 및 제어가 가능한 식물공장 시설관리 시스템을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 논문의 2장에서는 기존에 연구 되었던 식물공장에 대하여 기술한다. 3장에서는 식물공장 시설관리 시스템의 구성 및 각각의 구성요소에 대한 설명과 지원 가능한 서비스에 대하여 기술한다. 4장에서는 제한된 시스템을 제작된 온실 모형에 적용하여 설계한 결과들에 대한 수행성을 검증한다. 마지막으로 5장에서 본 논문에 기술한 연구에 대한 결론과 향후 연구내용 및 방향을 기술한다.

II. 관련 연구

세계적으로 식물공장은 먼저 일본은 태양광 이용형에서 완전제어형에 이르는 다양한 형태의 식물공장에 대한 연구가 진행되고 있고 식물공장의 사업화도 가장 앞선 것으로 평가되고 있다. 2008년에 이미 50개의 사업화된 식물공장이 운영중에 있었으며, 이러한 식물공장들은 주로 인공광원에 의존하며 거의 전작업 공정을 자동화 또는 로봇화로 연구해 나가는 경향이거나, 아직 완전제어형 식물공장에서는 자동화율은 상당히 낮은 상태다. 식물공장에 공급하는 새로운 광원으로서 하이브리드전극형광등(HEFL) 및 마이크로 광원을 식물공장 생산 시스템에 적용하기 위한 요소기술 연구가 활발하게 진행되고 있다 [9, 10].

유럽의 식물공장은 현재 네덜란드 등을 중심으로 대부분 자동화된 냉난방 및 공조 설비를 갖춘 유리온실의 형태로 되어 있고 주로 화훼류 등 고부가가치 작물 재배 또는 식물의 육묘 등에 적용되고 있다. 최근에는 입체형 식물공장 및 실용화 수준의 공정 자동화를 위해 농작업의 로봇화를 위한 연구와 온실보광 및 식물공장용 고효율 LED광원 개발에 필립스(Philips) 같은 대기업에서 집중적으로 연구하고 있다 [9, 10].

미국은 최근 학계를 중심으로 도심에 위치한 고층 빌딩형 식물공장(Vertial Farm)이란 새로운 형태의 식물공장에 대한 연구가 진행되고 있다. 일반적인 식물공장 형태로는 가격 경쟁력을 확보하기 힘들지만 도심형 식물공장이라면 운송 거리를 대폭 단축해서 물류 비용을 줄일 수 있고 대신 비싼 토지 구매 부담은 고층 건물 형태로 해결할 수 있다. 하지만 고

층형 식물공장의 결정적인 약점은 아직 건설된 적이 없는 개념에 불과해 실제로 구현되기까지는 시간이 걸릴 것으로 예상된다[9, 10].

이와 같이 식물공장은 일본과 유럽 등을 중심으로 여러 연구가 진행 중에 있다. 현재까지 연구되어진 식물공장은 주로 작업공정의 자동화 및 관련 생산시설 위주 개발되고 있으나, 설비장치들에 대한 진단이나 오류 데이터 검출 같은 관리 및 운영을 위한 기술에 대한 연구에는 미치지 못하고 있다. 본 논문에서는 기존 식물공장 관리 시스템에서 다루지 않았던 센서 및 설비장치의 오작동을 진단하는 식물공장 시설관리 시스템을 새롭게 제안한다.

III. 식물공장 시설관리 시스템

1. 식물공장 시설관리 시스템 고려 사항

식물공장 내에서 재배 상황은 노지 재배에 비해 외부 환경에 대해 폐쇄적이며 작물별 재배 계획에 따라 일정한 환경을 유지하며 운영된다. 이는 계절이나 외부 환경과 상관없이 언제나 원하는 작물을 안전하게 재배할 수 있다는 장점이 있지만, 식물공장의 내부 환경은 관리시스템에 의존하기 때문에 시스템을 구성하는 센서나, 설비장치의 오작동으로 잘못된 환경이 조성되면 재배작물에 큰 피해를 입히게 된다. 본 논문에서는 이러한 식물공장의 문제를 해결하기 위해 식물공장 시설관리 시스템을 제안하였다.

식물공장 시설관리 시스템은 식물공장의 폐쇄적인 특성을 이용하여 센서나 설비장치의 오작동 진단하기 위해, 각 센서 및 설비 장치가 설치된 구역을 블록(block)과 섹터(sector)로 정의하였다. 블록은 설비 장치가 영향을 미칠 수 있는 범위 내에 설치된 3개 이상의 센서로 이루어진 센서 그룹이며, 섹터는 3개 이상의 블록으로 이루어진 특정 작물을 재배하고 있는 지역을 의미한다. 블록과 섹터를 구성하는 최소한의 범위를 세게로 한 이유는 본 논문에서 제안하는 오작동 진단 알고리즘이 주변데이터의 평균을 비교분석하여 오작동 유무를 판별하는데 성능을 발휘할 수 있는 최소한의 범위이기 때문이다.

2. 식물공장 시설관리 시스템

본 논문에서 제안하는 식물공장 시설관리 시스템은 식물공장의 신뢰성 있고 효율적인 관리와 제어를 위해 센서 및 설비 장치의 오작동유무를 판별하고 그에 알맞은 서비스를 찾아 제공한다. 식물공장 시설관리 시스템은 그림 1과 같이 물리계

층, 중간계층 및 응용계층으로 구성된다. 물리계층에는 센서들로 구성된 센서그룹과 응용 설비기들이 존재한다. 중간계층은 데이터관리 모듈, 상황정보제공 모듈, 상황분석 모듈, 서비스제공 모듈, 정보저장소 모듈로 구성한다. 마지막으로 응용계층에는 사용자인터페이스 모듈을 통해 오작동 진단, 설비장치 제어, 고 신뢰성 모니터링 서비스가 제공된다.

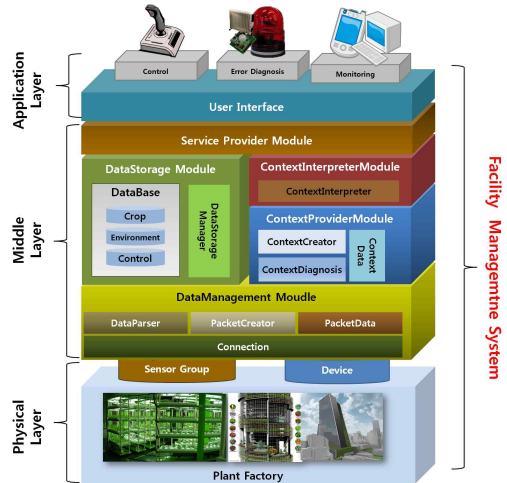


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System Architecture

2.1 데이터관리 모듈

데이터관리 모듈은 센서에서 수집한 데이터를 처리하여 데이터베이스 저장하고 해당정보를 상황정보제공 모듈로 전달하는 기능을 한다. 단순히 센서에서 수집한 데이터만으로 데이터가 올바른 데이터인지 아닌지를 파악하기가 쉽지 않기 때문에 일반 센싱 데이터에 필요정보를 추가하여 패킷을 재구성한다. 데이터관리 모듈은 DataParser, Connection, PacketData, PacketCreator 등으로 구성되어 있으며 각각 구성요소의 기능은 아래 표 1과 같다.

표 1. 데이터관리 모듈을 구성하는 클래스
Table 1. The classes that comprise Data Management Module

클래스	기능
DataParser	센서에서 수집된 Raw 데이터를 가공하여 실질적으로 필요한 정보 추출
Connection	싱크노드에서 수집한 센싱 데이터를 시리얼통신을 통해 전달
PacketData	센싱데이터에 해당데이터의 섹터, 블록, 센서 아이디와 이전 센싱 값, 블록 평균, 이전 블록 평균을 추가한 재구성된 패킷
PacketCreator	PacketData에 데이터를 입력하는 기능을 제공

2.2 상황정보제공 모듈

상황정보제공 모듈은 데이터관리 모듈에서 전송한 재구성한 패킷을 분석하여 상황정보로 변환시켜주는 역할을 하는 모듈이다. ContextDiagnosis, ContextData, ContextCreator로 구성되어 있으며 각 클래스의 주요 기능은 아래 표 2와 같다.

표 2. 상황정보제공 모듈을 구성하는 클래스
Table 2. The classes that comprise Context Provider Module

클래스	기능
ContextDiagnosis	재구성한 패킷을 분석하여 센서 및 설비 장치들의 오작동이나 제어여부를 판별하고 이를 상황정보로 재구성하는 수행하는 클래스
ContextData	상황분석 모듈에서 요청할 서비스를 분석할 수 있도록 상황정보를 정의하는 클래스
ContextCreator	ContextData에 데이터를 입력하는 기능을 제공하는 클래스

상황정보에서 포함하는 데이터와 그에 관한 설명은 표3과 같다.

표 3. ContextData의 정보 구성
Table 3. Information composition of ContextData

ContextData	
변수	설명
packet	패킷정보
isDecision	상황이 결정 되어 있는가?
isErr	오류에 관한 상황인가?
isSensor	센서에서 발생한 상황인가?
isDevice	설비 장치에서 발생한 상황인가?
isControl	제어에 관한 상황인가?
isActivation	설비 장치가 구동중인가?
DEVICE_CODE	관련 있는 설비 장치의 ID
deviceName	관련 있는 설비 장치의 이름
cropName	해당 섹터에서 재배하는 작물 이름
cropData	해당 작물생장 기준정보
DataType	관련 있는 데이터 종류

2.3 상황분석 모듈

상황분석 모듈은 상황정보제공 모듈에서 전송한 상황정보를 분석하여 어떠한 서비스를 제공할 것인지를 최종 결정한다. 상황정보제공 모듈에서 전송한 상황정보를 분석하여 서비스제공 모듈에 요청하는 ContextInterpreter 클래스로 구성되어있다.

2.4 서비스제공 모듈

서비스제공 모듈은 본 시스템에서 제공하는 서비스들이 구현 되어 있는 모듈이다. 상황분석 모듈에서 상황분석 결과로 요청하면 해당 서비스를 제공해준다. 제공하는 서비스인 오작

동 진단 서비스와 설비장치 제어 서비스, 고 신뢰성 모니터링 서비스의 실제기능이 구현되어 있는 ServiceProvider 클래스로 구성되어 있다.

2.5 정보저장소 모듈

정보저장소 모듈은 식물공장에서 재배하는 작물의 생장에 필요한 기준 정보 및 식물공장 내부 환경정보를 저장하는 데이터베이스와 데이터베이스에 저장된 데이터를 요청하거나 삽입/삭제를 위한 메소드가 구현된 DataStorageManager 클래스로 구성되어있다. 본 시스템은 데이터베이스를 통하여 데이터관리 모듈로부터 데이터를 전달 받기 때문에 데이터 값의 설정 및 제어 모듈의 신호 역시 데이터를 통한 전달 방식으로 이루어진다.

2.6 사용자인터페이스 모듈

식물공장 시설관리 시스템의 오작동 진단 서비스, 설비장치 제어 서비스와 고 신뢰성 모니터링 서비스를 사용자에게 제공하는 모듈이다. 해당 인터페이스에서는 식물공장 내부 환경정보를 섹터 및 블록 단위로 모니터링 가능하며, 오작동 진단 및 설비 제어 시 알림기능을 제공한다.

3. 제공 서비스

본 절에서는 식물공장 시설관리 시스템이 지원하는 서비스들에 대해서 기술 한다. 센서나 설비 장치의 오작동여부를 판단하고 관리자에게 알려주는 오작동 진단 서비스, 오작동을 진단하는 과정에서 제어필요성이 판단 될 경우 해당기기를 제어해주는 설비장치 제어 서비스, 오작동 진단 서비스를 통해 검증된 데이터를 관리자에게 알려주는 고 신뢰성 모니터링 서비스를 제공한다.

3.1 오작동 진단 서비스

센서 및 설비장치의 오작동 진단 서비스는 식물공장에 설치된 많은 센서들과 설비장치들이 제대로 작동하고 있는지 진단하여 사용자에게 통지한다. 센서에서 데이터를 전달 받으면 데이터관리 모듈에서 관련정보를 정보저장소 모듈을 통해 데이터베이스에 저장한다. 그 후 센싱 데이터의 재구성을 위해 필요한 정보를 정보저장소 모듈에 요청하여 재구성된 패킷을 만든다. 재구성된 패킷은 상황정보제공 모듈에서 분석과정을 거치면서 정보저장소 모듈에 데이터를 요청하여 상황정보가 만들고, 해당 상황정보는 상황분석 모듈에 전달되어 상황분석을 통해 서비스 제공 모듈에 오작동 알림을 요청한다. 서비스제공 모듈은 사용자 인터페이스 모듈을 통해 센서나 기기에 관한 오류 정보를 제공한다. 이때 센서가 오류로 판단된 경우 데이터베이스에서 해당 ID의 센서 값을 삭제하여 다른 센서의 오류검출에 영향을 미

치지 않도록 한다. 그림 2는 센서 및 설비장치 오작동 진단 서비스의 동작과정을 시퀀스 다이어그램으로 보여준다.

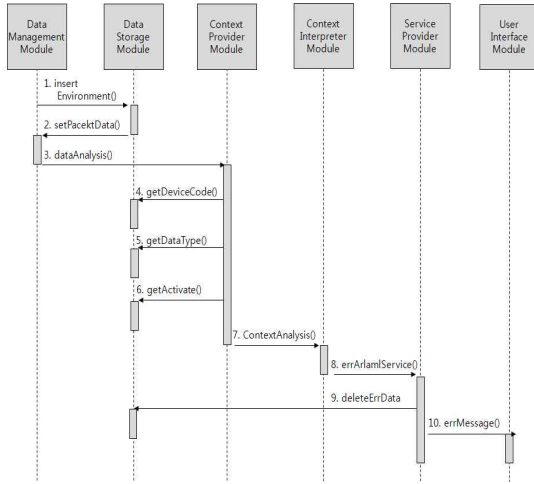


그림 2. 센서 및 설비 장치 오작동 진단 서비스 시퀀스 다이어그램
Fig. 2. Sequence diagram of failure diagnosis service

상황정보제공 모듈에서 패킷을 분석하여 상황정보를 구성하는 과정은 크게 설비 장치가 제어 되고 있는 상황과 제어 되고 있지 않은 상황으로 구분된다. 각 과정에 대한 알고리즘은 그림 3, 4에서 설명하고 있으며, 알고리즘에서 사용된 변수의 의미는 다음과 같다.

- currentData : 현재 센싱 값
- beforeData : 이전 센싱값
- blockAve : 블록 평균값
- beforeBlockAve :이전 블록 평균값
- sectorAve : 섹터 평균값
- sensorErrCount : 센서 오류 카운트
- limitsensorErrCount : 센서 오류 판정 카운트 임계값
- deviceErrCount : 제어기기 오류 카운트
- limitDeviceErrCount : 제어기기 오류 판정 카운트 임계값

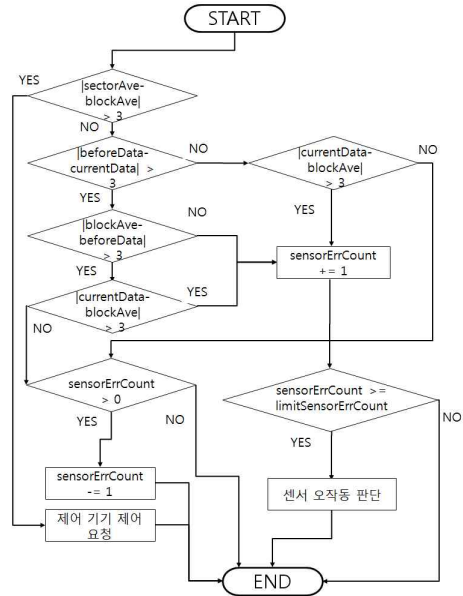


그림 3. 설비 장치가 제어 중이 아닐 때 오작동 진단 서비스 알고리즘
Fig. 3. Failure Diagnosis Service Algorithm in case facilities are not controlled by system

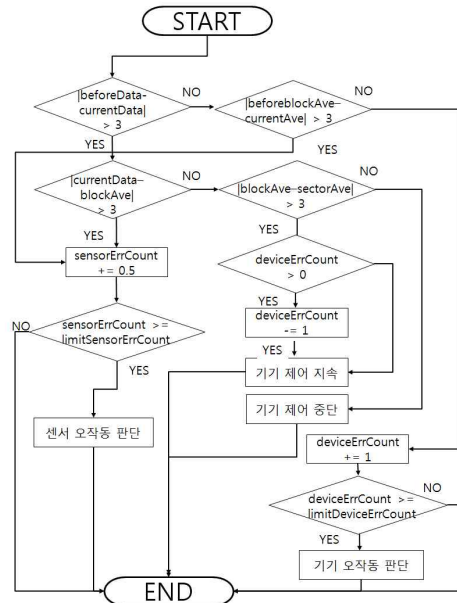


그림 4. 설비 장치가 제어 중 일때 오작동 진단 서비스 알고리즘
Fig. 4. Failure Diagnosis Service Algorithm in case facilities are controlled by system

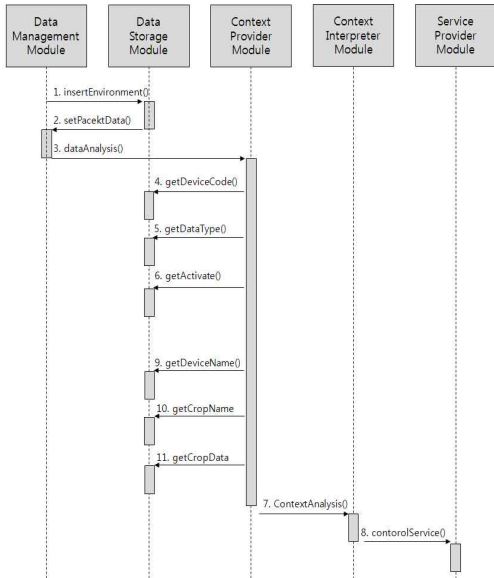


그림 5. 설비장치 제어 서비스
Fig. 5. Sequence diagram of The Facility Control Service

위의 같은 분석을 통해 표4와 같이 총 7가지 상황을 유추할 수 있으며 관련된 상황에 따라 sensorErrCount나 deviceErrCount를 가감함으로써 오류 여부를 진단한다. 축적된 sensorErrCount나 deviceErrCount가 임계값을 넘어가면 각각 센서 오류 및 기기오류로 판정한다.

표 4. 진단 결과
Table 4. Diagnostic results

설비장치 비가동				
상황	평균값 유지	지속적으로 평균값을 이탈	평균값을 유지하다 평균값이탈	평균값이탈후 복귀
	정상 → 정상	오류 → 오류	정상 → 오류	오류 → 정상
sensorErrCount	1감소	1증가	1증가	1감소
deviceErrCount	-	-	-	-
설비장치 가동 중				
상황	주변데이터 및 평균데이터가 변동	센싱값은 유지 주변환경은 계속 변화	평균값을 유지	
	장치 가동으로인한 환경 변화	해당 센서 오류 주변 데이터 정상	장치 오류	
sensorErrCount	0.5 증가	1 증가	-	
deviceErrCount	-	-	1증가	

sensorErrCount나 deviceErrCount가 임계값을

넘어가면 각각 센서 오류 및 기기오류로 판정한다.

3.2 설비장치 제어 서비스

설비장치 제어 서비스는 식물공장 운영 중에 이상 환경이 감지되었을 경우 이를 최적 생장데이터에 맞게 제어한다. 구동 과정은 재가공된 패킷을 상황정보제공 모듈에 전달하는 단계까지는 위에서 설명했던 오작동 진단 서비스와 같다. 하지만 이후 상황정보를 만드는 과정 중에 설비장치 제어 서비스에 필요한 작물의 생장 기준 정보를 추가적으로 요청한다. 구성된 상황정보는 상황분석 모듈에 전달되어 상황 분석을 통해 해당 환경정보를 높일 것인지 낮출 것 인지를 결정하고 설비장치 제어 서비스를 서비스제공 모듈에 요청한다. 서비스제공 모듈은 요청받은 설비장치에 대한 제어를 가동 시킨다. 그림 5은 제어 서비스의 구동과정을 시퀀스 다이어그램으로 나타낸다.

3.2.1. 서비스 요청 도출 과정

설비장치 제어 서비스 또한 상황정보제공 모듈에서 패킷을 분석하여 상황정보를 구성하는 과정에서 서비스 제공 유무를 결정한다. 그림 3를 참조하여 설비 장치가 제어 중이 아닌 상황에서 blockAve이 sectorAve과 큰 차이가 난다는 것은 다른 블록의 blockAve들과 해당 블록의 blockAve가 차이가 난다는 뜻이다. 이는 해당 블록의 센싱 데이터들이 최적 재배 환경이 벗어나 있다는 것으로 추측할 수 있다. 해당 환경정보를 조절하는 설비장치를 제어해야 한다고 가정할 수 있으므로 제어를 요청한 형태로 상황정보를 구성한다. 그림 4를 참조하여 설비장치가 작동 중에 있을 때 beforeData와 currentData의 차이가 크고 currentData와 blockAve차이가 작으면서 sectorAve와 blockAve의 차이가 작으면 변화 값이 원하는 데이터에 도달하였다는 의미이므로 제어 중단을 요청한다. 반대로 sectorAve와 blockAve의 차이가 크다면 계속 가동 하는 상황정보를 구성한다. 구성된 상황정보는 상황분석 모듈에 분석을 요청한다.

3.2.2. 서비스 구동 결정

상황정보제공 모듈에서 전달한 제어관련 상황정보를 상황 분석 모듈에서는 그림 6과 같은 과정을 통해 블록평균을 작물 생장 기준 데이터와 비교하여 최종적으로 어떤 제어를 할 것 인지를 결정한다. 상황정보가 제어에 관련된 정보를 가지고 있다고 하더라도 여기서 적절하다고 판단되면 설비장치 제어 서비스를 실행하지 않는다.

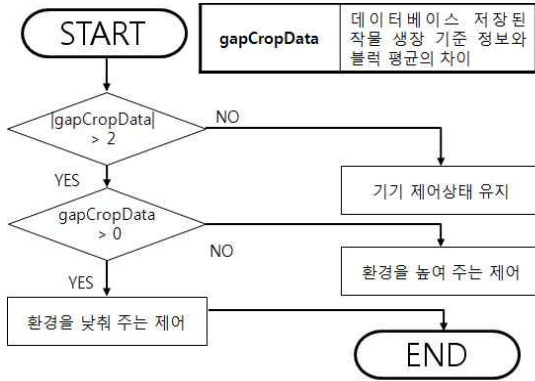


그림 6. 설비장치 제어 결정 알고리즘
Fig. 6. Algorithm of Facility Control Decision

3.3 고 신뢰성 모니터링 서비스

고 신뢰성 모니터링 서비스는 식물공장 내부의 환경정보를 실시간으로 사용자인터페이스를 통해 제공해주는 서비스다. 구동 과정은 센서에서 수집한 데이터를 데이터관리 모듈에서 정보를 추출하고, 이를 정보저장소 모듈을 통해 데이터베이스에 저장한다. 사용자 인터페이스 모듈은 서비스제공 모듈에게 필요한 정보를 요청하고 서비스제공 모듈은 정보저장소 모듈에 해당정보를 요청하고 반환 받아 다시 사용자 인터페이스 모듈에 전달한다. 이와 같이 고 신뢰성 모니터링 서비스의 동작과정은 일반 모니터링 시스템과 크게 다를 바 없지만 위에서 설명한 오작동 진단 서비스를 통해 필터링된 정보를 제공함으로써 보다 신뢰성 있고 정확한 모니터링 서비스를 제공한다. 그림 7은 고 신뢰성 모니터링 서비스의 구동과정을 시퀀스 다이어그램으로 나타낸다.

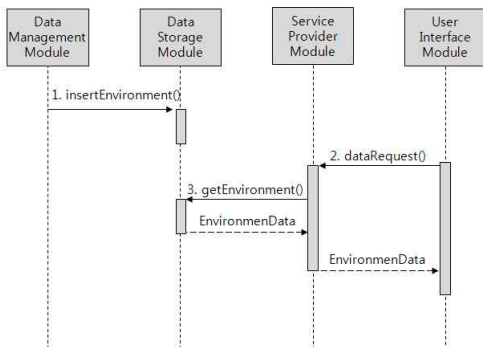


그림 7. 고 신뢰성 모니터링 서비스 구동과정
Fig. 7. Sequence diagram of The Highly-reliable Monitoring Service

IV. 수행결과

1. 구현

1.1 데이터베이스 스키마

식물공장 시설관리 시스템의 효과적인 구현을 위하여 그림 8과 같은 데이터베이스 스키마를 설계하여 MS-SQL 2005로 데이터베이스 서버를 구축하였다. 데이터베이스는 ENVIRONMENT, DATA_TYPE, DEVICE, CONTROL, CROP 총 5개의 테이블로 구성되어있다. ENVIRONMENT 테이블은 센서에서 수집된 정보를 저장하고 있다. 센서에서 수집한 데이터 종류 목록을 저장하고 있는 DATA_TYPE 테이블과 N 대 1 관계를 가짐으로써 센서의 종류가 추가에 유연한 확장을 고려하였다. 설치된 설비장치의 정보를 가지고 있는 DEVICE 테이블도 마찬가지로 CONTROL 테이블과 N 대 1 관계를 갖도록 설계함으로써 식물공장내부에 새로운 장치가 설치되더라도 유연하게 확장 가능하도록 하였다. CROP 테이블은 작물이 최적상태로 자랄 수 있는 환경정보들을 저장하는 테이블로써 상황정보 제공자에서 제어 및 진단을 할 때 해당 테이블을 참고하도록 하였다.

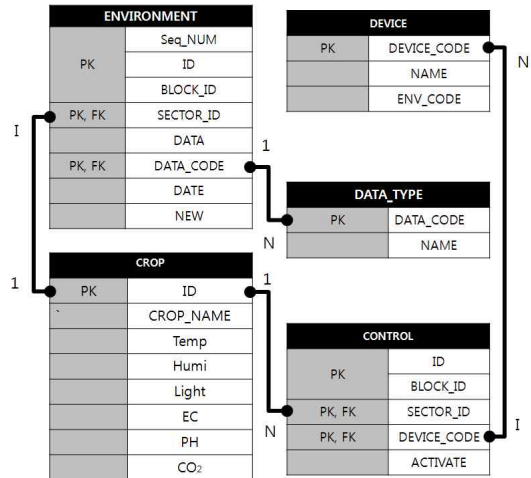


그림 8. 데이터베이스 스키마
Fig. 8. DataBase Schema

1.2 사용자 인터페이스

식물공장 시설관리 시스템의 사용자 인터페이스는 그림 9와

같다. 그림 9의 (a)는 센서 및 설비장치가 오류가 발생할 경우 해당 목록을 디스플레이해주는 부분이다. (b)는 식물공장 내부의 환경정보 및 센서 정보를 확인할 수 있도록 하였다. (c)는 설비장치의 제어기록을 남기는 부분이며 설비장치 제어서비스가 실행될 때 제어한 설비장치들의 정보와 제어기록을 남긴다.

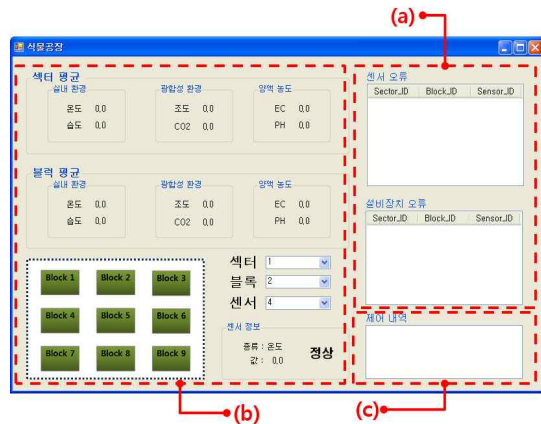


그림 9. 사용자 인터페이스디스플레이 정보
Fig. 9. User Interface(Display information)

2. 구현결과

식물공장 시설관리 시스템이 제공하는 서비스의 수행성을 검증할 위하여 실제 센서데이터와 같은 패킷구조를 가지는 가상의 데이터를 각각의 쓰레드를 구성하여 실제 센서와 같이 동시에 다발적인 센서데이터를 전송 하도록 하였다. 검증을 위해 가상의 식물공장에서 상추를 재배한 다고 가정하고 테스트를 하였다. 식물공장은 9개의 센서를 보유한 9개의 블록으로 이루어져있고 섹터는 1개로 구성되어있다. 시험 기준에 사용한 센싱 데이터의 종류는 온도로 하도록 하였고, 가상의 센서 노드에 각각의 쓰레드를 할당하여 실제 센서와 같이 동시다발적으로 데이터를 전달하도록 하였다. 시뮬레이션에 사용된 가상의 식물공장의 테스트 환경은 표 5와 같다.

표 5. 식물공장 테스트 환경 구성
Table 5. Test Environment

구분	개수	작물	환경	기준 값
센서	9	상추	온도	18℃
블럭	9		조도	25,000Lux
섹터	1		습도	-20kPa

가상의 식물공장에 설치된 총 81개의 센서 중 72개의 정상적인 센서는 18도~19℃사이의 정상적인 데이터를 전송하고, 오작동 센서로 가정한 9개의 센서는 20~30도 사이의 임의 값을 가진 센싱 데이터를 전송한다. 각각의 센서는 1초 간격으로 50개의 데이터를 전송한다. 또한 온도를 제어하는 설비장치인 온풍기가 고장이 났다고 가정하였다. 테스트에 사용된 센서에 대한정보는 표 6과 같다.

표 6. 가상 센싱 데이터
Table 6. Virtual Sensing Data

구분	개수	동작	전송 주기	전송한 데이터수
정상 온도 센서	72	17~9 ℃	1 초	50
오류 온도 센서	9	10~20 ℃		
오류 온풍기	1	동작안함	-	-

서비스 수행 결과 표 7과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 장치가 가동하고 있지 않는 상황에서는 오작동 센서가 9개 모두 검출되었다. 반면 장치가 가동 중인 상황에서는 오작동센서를 6개 검출하여 상대적으로 검출확률이 낮았으나, 기기가 오작동이라는 것을 진단해 내었다. 그림 10은 구동 결과를 보여주는 사용자 인터페이스이다.

표 7. 오작동 진단 서비스 구동 결과
Table 7. Result of Failure Diagnosis Service

오작동 센서			검출여부	
Sector	Block	Sensor	장치 비가동	장치 가동중
1	1	5	○	X
1	2	9	○	○
1	3	4	○	○
1	3	7	○	X
1	4	7	○	X
1	5	7	○	○
1	6	3	○	○
1	8	1	○	○
오작동 장치			검출여부	
Sector	Block	Device	장치 비가동	장치 가동중
1	1	1	X	○



그림 10. 사용자 인터페이스오류 모니터링
Fig. 10. User Interface(Failure monitoring)

설비장치 제어 서비스의 성능을 검증하기 위하여 제어기 발생할 수 있는 상황에 따라 설비 장치가 어떤 조치를 취하는지 확인하였다. 제어가 발생할 수 있는 상황은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 현재 블록의 평균 데이터가 섹터 평균값과 데이터베이스에 저장된 최적 생장정보보다 높거나 낮은 상황과, 블록의 평균 데이터가 섹터 평균값과 차이가 나지만 데이터베이스에 저장된 최적 생장정보와는 차이가 크게 나지 않는 경우를 들 수 있다. 그러한 상황들을 시뮬레이션에 적용하여 조치사항을 출력하도록 하였다. 그 결과는 표 8과 같다.

표 8. 설비장치 제어 서비스 결과
Table 8. Result of facility control service

	센서 값	블록 평균	섹터 평균	생장기준	조치
온도가 낮을 때 (섹터 기준)	15.2℃	14.3℃	18.2℃	18℃	온풍기 온도 상승
온도가 낮을 때 (생장 기준)	17.2℃	17.1℃	20.5	18℃	온풍기 온도 유지
온도가 높을 때 (섹터 기준)	25.3℃	25.1℃	19.1℃	18℃	온풍기 온도 하향
온도가 높을 때 (생장 기준)	17.8℃	18.5℃	12.4℃	18℃	온풍기 온도 유지

그 결과 설비장치의 제어가 섹터 평균에 영향을 받기도 하지만, 최종적으로 데이터베이스 저장된 생장기준을 참고하기 때문에 일시적인 센서의 오류로 인해 발생하는 불필요한 설비 장치의 제어를 줄일 수 있음을 확인하였다. 이러한 설비장치 제어 서비스는 위에서 보였던 오작동 진단 서비스와 동시에

구동되어 오작동 된 센서의 데이터를 필터링하여 제어 기준으로 삼기 때문에 일반 제어 서비스에 비하여 정밀하고 신뢰성 있는 설비장치 제어 서비스를 제공한다.

V. 결론

본 논문에서는 재배지 내에서 발생할 수 있는 센서나 여러 가지 기기들의 오작동이나 환경적인 문제들을 능동적으로 진단하고 관리하는 식물공장 관리 시스템을 제안하였다. 본 시스템은 센서나 설비 장치들과의 통신환경을 설정하고, 센싱 데이터를 재구성 하는 역할을 하는 데이터관리 모듈, 재구성한 패킷을 분석하여 상황정보로 재구성하는 상황정보제공 모듈, 상황정보를 분석하여 서비스를 요청하는 상황분석 모듈, 실질적으로 서비스를 실행하는 서비스제공 모듈, 그리고 식물 공장운영에 필요한 정보를 저장하는 데이터베이스 구축하고 이를 활용할 수 있도록 도와주는 정보저장소 모듈, 사용자에게 서비스를 제공하는 매개체 역할을 하는 사용자인터페이스 모듈로 구성된다. 이런 모듈 간의 연계를 통하여 센서나 설비 장치의 오작동여부를 판단하고 관리자에게 알려주는 오작동 진단 서비스를 통해 검증된 데이터를 사용자에게 알려주는 고신뢰성 모니터링 서비스, 오작동 진단 서비스에서 제어 판단이 있을 경우 설비장치를 효율적으로 구동하는 설비장치 제어 서비스를 제공하도록 하였다. 구현된 시스템은 가상의 식물공장에 9개의 오작동센서와 작동 하지 않고 있는 온풍기가 있다는 상황에서 시뮬레이션을 하여 검증하였다. 그 결과 설비장치가 작동중이 아닐 때는 9개의 오작동하는 센서들을 모두 감지해 냈지만, 설비장치가 작동 중 일때는 6개만 감지함으로 감지기능이 다소 떨어졌지만 동작하지 않고 있는 기기를 감지할 수 있었다. 이와 같이 본 시스템이 식물공장의 설비관리에 효과적인 성능을 발휘함을 확인하였다.

향후 연구로는 시스템을 실제 현장에 필드테스트를 하여 시스템의 신뢰성을 검증하고, 다양한 상황들을 유연하게 대처할 수 있는 상황인지 서비스를 추가하여 작물의 생장관리를 스케줄링하는 기술에 대한 연구가 필요가 있다.

참고문헌

[1] Hyun-Chul Mo,
http://www.wimaeil.com/sub_news/sub_news_view.php?news_id=39824&yy=2010
[2] Pyeong Sig Park,

<http://blog.daum.net/organiconion/11789241>

[3] Y. Kim, "International Technology Trends and Automation of Plant Factory," BION Special ZINE, 2010. No.18, 2010.

[4] B. Schilit, N. Adams and R. Want, "Context-aware computing applications," In proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1994.

[5] H. Yoon, W. Kang, O. Kwon, S. Jeong, B. KANG and T. Han, "Design of a Mobile Application Framework with Context Sensitivities," IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol.E89-D No. 2, pp. 508-515, Jun. 2006.

[6] A. Daftari, N. Mehta, S. Bakre and X. Sun, "On the Design Framework of Context Aware Embedded Systems," Monterey Workshop on Software Engineering for Embedded Systems: From Requirements to Implementation, 2003.

[7] M. Covington, P. Fogla, Z. Zhan, and M. Ahamad, "Context-aware Security Architecture for Emerging Applications," Security Applications Conference(ACSAC), 2002.

[8] G. Biegel and V. Cahill, "A Framework for Developing Mobile Context-aware Applications," IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2004.

[9] K. Choi and Y Lee, "Plant Factory in Advanced Countries", BION Special ZINE, 2010. No.18, 2010.

[10] H. Doo, "Research on Plant Production Factory, Commercialization Status and Prospect", BION Special ZINE, 2010. No.18, 2010.

[11] J. Seo, M. Kang, Y. Kim, C. Sim, S. Joo and C. Shin, "Implementation of Ubiquitous Greenhouse Management System Using Sensor Network," Journal of Korean Society for Internet Information Vol.9 No.3, pp.1-182, 2008.6

[12] C. Shin, Myoung-Suk Kang, Chang-Won Jeong and Su-Chong Joo, "TMO-based Object Group Framework for Supporting Distributed Object Management and Real-Time Services," Lecture Notes in Computer Science, Vol.2834, pp.525-535.

Sept. 2003.

[13] C. Shin and J. Seo, "A Development of Proactive Application Service Engine Based on the Distributed Object Group Framework," Journal of Korean Society for Internet Information, Vol. 11, No. 1, pp. 153-165, Feb. 2010.

저 자 소 개



이 용 응

2009 : 순천대학교
정보통신공학과 학사
현 재 : 순천대학교
정보통신공학과 석사
관심분야 : 분산컴퓨팅, USN
E-mail : ywlee@sunchon.ac.kr



서 범 석

1985 : 전남대학교
원예학과 농학사
1987 : 전남대학교
원예학과 농학석사
1992 : 전남대학교
원예학과 농학박사
현 재 : (사)한국은실작물연구소
연구소장
관심분야 : 시설원예학
E-mail : kgcri@hanmail.net



김 찬 우

1989 : 아주대학교
전자공학과 공학사
현 재 : (사)한국은실작물연구소
정보화기획본부 본부장
관심분야 : 시설원예, 식물공장
E-mail : cwkim6277@hanmail.net



김 경 희

1986 : 인하대학교 교육학과 학사
 현 재 : 사)한국온실작물연구소
 정보화기획본부
 IT기획지원실 실장
 관심분야 : 시설원에
 E-mail : khkim1227@naver.com



박 양 호

1996 : 단국대학교
 국제농업개발학과 농학사.
 1998 : 단국대학교
 국제농업개발학과 농학석사.
 1999 : 한국유기농업연구소연구원
 2005 : 동경대학교
 응용생명화학과 농학박사
 2006 : 농업과학기술원박사후연구원
 2006(현재): 단국대학교시간강사
 2008 : 서울대학교 유전공학연구소
 박사후연구원
 2009(현재): 한국온실작물연구소연구
 실장
 2009(현재): 전남농업마이스터대주임
 교수
 관심분야 : 원예, 식물생리
 Email : 123pyh@hitel.net



신 창 선

1996 : 우석대학교 전산학과 학사
 1999 : 한양대학교 컴퓨터교육과 석사
 1999 : 원광대학교 컴퓨터공학과 박사
 1999 : 원광대학교
 헬스케어기술개발센터
 Post-Doc
 현 재 : 순천대학교 정보통신공학과
 교수
 순천대학교 공과대학 부학장
 전라남도 IT 융합모델
 기획위원
 관심분야 : 분산컴퓨팅, 분산알고리즘
 Email : csshin@sunchon.ac.kr