

위성항법 지상국 감시제어시스템 예비설계

정성균[†], 이재은, 박한얼, 이상욱, 김재훈
한국전자통신연구원 위성관제·항법연구팀

Preliminary Design of Monitoring and Control Subsystem for GNSS Ground Station

Seongkyun Jeong[†], Jae-Eun Lee, Hanearl Park, Sanguk Lee, and Jaehoon Kim
Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon 305-350, Korea
E-mail: skjeong387@etri.re.kr

(Received April 30, 2008; Accepted May 16, 2008)

요 약

위성항법 지상국 기술은 위성으로부터 위성항법신호를 받아 위성항법신호를 감시하고 분석하며 위성에 보정정보를 업로드하는 기술로써 위성항법 인프라 구축에 매우 중요한 기술이며 여러 응용분야에 적용할 수 있는 핵심 기술이다. 이 중 한국전자통신연구원에서 개발하고 있는 감시제어시스템은 GPS 및 갈릴레오 항법 위성으로부터 신호 감시 데이터를 수집하여 위성항법 제어 센터로 제공하는 기능을 수행하는 소프트웨어 시스템이다. 이 논문에서는 위성항법 지상국의 구성과 감시제어시스템의 목적 및 형상을 소개한 다음, 감시제어시스템의 적용 알고리즘을 소개하고 감시제어시스템의 예비설계를 기술하였다. 감시제어시스템은 데이터 수집, 데이터 포매팅 및 저장, 데이터 오차 보정, 항법해 결정, 독립 품질 감시, 시스템 운용 및 유지 등의 모듈로 구성되어 있다. 감시제어시스템의 예비설계는 유스케이스 모델, 도메인 설계, 소프트웨어 구조설계, 사용자 인터페이스 구조 설계 과정을 통하여 이루어졌다. 각 단계별 설계과정은 UML(Unified Modeling Language) 표준 방식에 따라 이루어졌다. 이 연구에서 설계된 감시제어시스템은 지상국의 운용 능력을 향상시킬 뿐만 아니라 상세설계의 기초자료로 이용될 것이다.

Abstract

GNSS (Global Navigation Satellite System) Ground Station monitors navigation satellite signal, analyzes navigation result, and uploads correction information to satellite. GNSS Ground Station is considered as a main object for constructing GNSS infra-structure and applied in various fields. ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute) is developing Monitoring and Control subsystem, which is subsystem of GNSS Ground Station. Monitoring and Control subsystem acquires GPS and Galileo satellite signal and provides signal monitoring data to GNSS control center. In this paper, the configurations of GNSS Ground Station and Monitoring and Control subsystem are introduced and the preliminary design of Monitoring and Control subsystem is performed. Monitoring and Control subsystem consists of data acquisition module, data formatting and archiving module, data error correction

[†]corresponding author

module, navigation solution determination module, independent quality monitoring module, and system operation and maintenance module. The design process uses UML (Unified Modeling Language) method which is a standard for developing software and consists of use-case modeling, domain design, software structure design, and user interface structure design. The preliminary design of Monitoring and Control subsystem enhances operation capability of GNSS Ground Station and is used as basic material for detail design of Monitoring and Control subsystem.

Keywords: GNSS ground station, monitoring, control, navigation software

1. 서 론

위성항법 시스템은 사회적, 군사적으로 다양하게 이용되고 있으며 항법, 측지, 긴급구조, 노인복지, 레저 등 많은 분야로 이용분야를 넓히고 있다. 폭 넓은 이용분야와 군사적 중요성 때문에 각국에서는 국가 기간 사업으로 독자적인 위성항법 시스템을 구축하고 있다. 유럽의 갈릴레오 위성항법 시스템을 비롯하여 중국, 일본, 인도에서도 독자적인 항법시스템을 구축하기 위하여 노력하고 있다. 미국에서도 GPS 현대화 계획을 수립하여 기존의 GPS 시스템의 성능을 개선하는 작업을 수행하고 있다(Jeong et al. 2007). 갈릴레오 위성항법시스템은 미국의 GPS에 대응하기 위해 유럽에서 구축중인 시스템으로 실험위성의 테스트가 진행 중에 있다. 러시아, 중국 역시 독자적인 항법 위성을 구상 중에 있으며 일본 인도도 위성항법기술 및 안정적인 항법 기술 확보에 노력하고 있는 실정이다. 위성항법 지상국 기술은 위성으로부터 위성항법신호를 받아 위성항법신호를 감시하고 분석하며 위성에 보정정보를 업로드하는 기술로써 위성항법 보정신호를 생성하여 사용자에게 전달하는 SBAS(Satellite Based Augment System) 시스템의 기술개발에도 이용될 수 있으며 위성항법 응용 시스템에 기초가 되는 기술이다.

GPS 현대화와 새로운 갈릴레오 위성항법 시스템이 구축됨에 따라 사용자는 성능이 좋은 더 많은 위성신호를 이용할 수 있으므로 더욱 정확한 항법 정보를 얻을 수 있다. 또한 위성 수의 증가로 GPS 신호만을 이용할 때보다 도심, 숲 등 신호 음영지역이 감소하고 이로 인해 가용성과 여유도가 증가하여 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 하지만 이와 같이 여러 가지 시스템의 신호를 통합하여 동시에 운용하기 위해서는 각 시스템의 구성과 차이를 고려하여 이에 대한 영향을 적절히 보상하여야 한다(송종화 외 2008).

한국전자통신연구원은 GPS와 갈릴레오 신호를 동시에 수신, 처리하여 위성항법 제어센터에 전달할 데이터를 생성하는 신호감시국, 감시제어시스템과 위성항법 제어센터에서 생성한 보정 정보를 위성에 업로드하는 상향링크국 기술로 구성된 위성항법 지상국 기술을 개발하고 있다. 이 중 감시제어시스템은 신호감시국으로부터 위성항법 신호를 넘겨받아 위성항법 제어센터로 전달하기 위한 데이터를 생성하고 수신된 신호를 분석하는 소프트웨어 시스템이다. 이 논문에서는 GPS와 갈릴레오 신호를 수신하여 처리하는 위성항법 지상국과 감시제어시스템을 소개하고 감시제어시스템의 인터페이스를 정의하였다. 또한 관련 알고리즘을 기술하여 감시제어시스템의 기술 수준과 구성을 정의하였으며 감시제어시스템의 예비설계를 실시하여 기술 구현에 대비하였다.

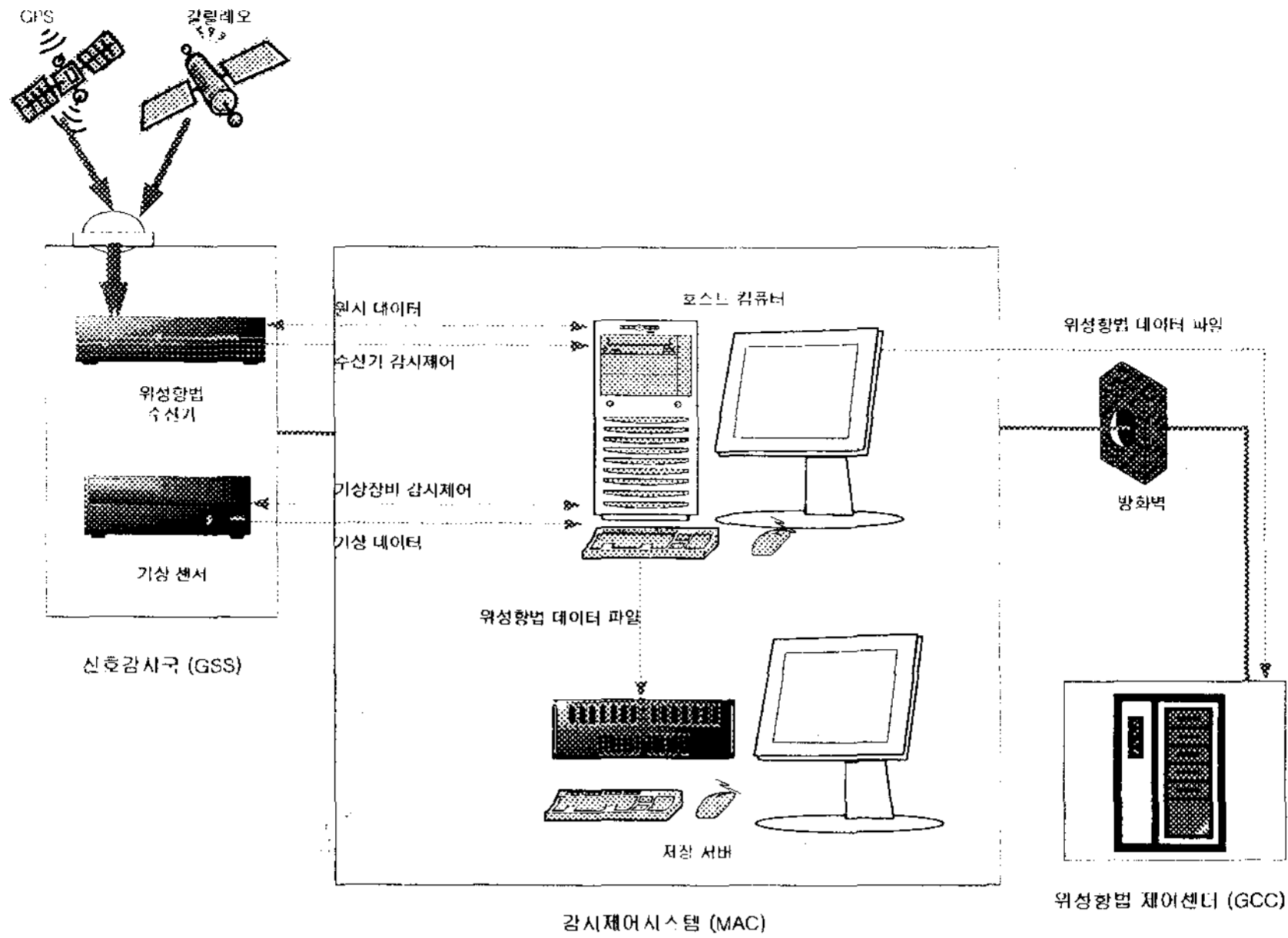


그림 1. 감시제어시스템의 구성.

2. 위성항법 지상국 개요

위성항법 지상국은 신호감시국, 상향링크국, 감시제어 시스템으로 구성된다. 위성항법 신호감시국은 GPS/갈릴레오 겸용 고정밀 수신기 및 안테나, 원자시계, 기상관측장비, 전원공급장치와 네트워크 등의 하드웨어로 구성된다. 신호감시국은 GPS와 갈릴레오 항법위성으로부터 신호를 수신 받아 항법메시지를 추출해 내고 위성신호로부터 각종 관측치를 측정하는 역할을 수행하며 감시제어시스템에서 이용할 수 있도록 항법 데이터를 전달하는 역할을 한다. 상향링크국은 상향링크국 제어감시장치와 모뎀 RF장비 및 안테나로 구성된다. 상향링크국은 위성항법 제어센터로부터 위성보정 정보를 수신하여 보정 정보를 위성에 업로드하는 역할을 수행한다. 감시제어시스템은 소프트웨어로서 항법 소프트웨어, 감시제어 소프트웨어, 시스템 운용 및 관리 소프트웨어로 이루어진다. 감시제어시스템은 항법 데이터를 수집하고 수신된 데이터 검증과 같은 중요 기능을 수행하며, 위성항법 데이터를 필요로 하는 사용자에게 데이터를 제공하기 위한 데이터 통신 인터페이스를 포함한다(Jeong et al. 2007).

감시제어시스템의 목적은 GPS 및 갈릴레오 신호 감시 데이터를 위성항법 제어센터(GNSS Control Center: GCC)에 제공하고, 향상된 위치 정확도를 제공하며, 위성항법 신호감시국의 장비를 감시 제어하며, GPS 및 갈릴레오 서비스를 위한 가용성을 제공하는 것이다. 이러한 목적을 만족시키기 위해서 감시제어시스템은 항법서비스를 위하여 위성항법 신호감시국에서 제공하는 모든 측정 데이터를 수집 처리하며, 데이터의 품질을 검증하고, 항법해를 계산하며, 위성항법 신호감시국을 운용하기 위한 감시 제어 기능을 제공한다.

감시제어시스템은 위성항법 신호감시국을 운용하기 위한 컴퓨팅 기능을 제공하는 시스템으로 그림 1과 같은 시스템 구조를 갖는다. 감시제어시스템은 소프트웨어를 동작시킬 수 있는 컴퓨터와 저장 서버로 구성된다. 위성항법 신호감시국을 구성하는 GNSS 수신기로부터 위성항법 원시데이터를 수집하며, 기상 센서로부터 기상 원시데이터를 수집한다. 제어 명령을 통해 위성항법 신호감시국 장비를 제어하며, 위성항법 신호감시국의 상태 정보를 수집한다. 위성항법 신호감시국을 구성하는 각 장비의 제어/감시 기능은 각 장비에서 제공되는 제어/감시 프로토콜을 따른다. 수집된 데이터는 정해진 파일 포맷으로 변환, 저장되며, 위성항법 제어센터로 전송될 수 있다.

감시제어시스템은 기능을 수행하기 위하여 위성항법 신호감시국과 인터페이스를 갖는다. 신호감시국의 수신기로부터 항법 데이터, 측정 데이터를 수신하고 기상 장비로부터 기상 데이터를 수신한다. 위성항법 신호감시국의 장비를 감시하기 위한 모니터링 데이터를 수신하고 장비를 제어하기 위한 제어 명령을 송신한다. 위성항법 감시제어 센터와는 위성항법 신호감시국에서 수집한 데이터를 송신하기 위한 인터페이스를 갖는다(Jeong et al. 2007).

3. 감시제어시스템 알고리즘 분석

3.1 데이터 수집 기능

데이터 수집 기능은 수신기가 수신한 GPS 및 갈릴레오 위성 신호와 관련된 데이터를 수집한다. 주요 데이터로 의사거리, 반송파 위상, 도플러, 항법메시지 등이 될 수 있다. 또한 기상센서로부터 측정된 온도, 습도, 기압 등의 기상 데이터를 수집할 수 있다. 데이터 수집 모듈에서는 GPS와 갈릴레오 ICD(Interface Control Document)를 기초로 하여 항법 메시지의 정보를 추출하게 되며 신호감시국의 수신기가 측정한 관측치도 동시에 수집한다. 신호감시국에 별도로 설치된 기상 장비로부터 현재 수신기기의 위치에서 기상상태 데이터를 수신하여 위성신호를 보정할 수 있는 자료로 사용하게 된다.

3.2 데이터 포매팅 및 저장 기능

데이터 포매팅 및 저장 기능은 수신기, 기상센서 등으로부터 수집된 데이터를 데이터 통신을 통해 전송하기 위한 파일로 변환하고, 데이터 서버에서 이 파일을 받아서 표준화된 파일 포맷형식인 RINEX(Receiver Independent Exchange Format)로 다시 변환하고 저장한다. RINEX는 GPS/갈릴레오 데이터를 어떠한 수신기로 관측하여도 그에 무관하게 사용할 수 있는 공통적인 변환 형식이다. RINEX 형식은 ASCII 타입의 관측데이터 파일, 항법메시지 파일, 기상데이터 파일을 포함하고 있다.

3.3 데이터 오차 보정 알고리즘

데이터 오차 보정 기능은 측정 데이터에 포함된 오차 성분을 제거하기 위한 기능으로, 이온층 지연, 대류권 지연, 시계 오차 등을 보정하여 향상된 품질의 측정데이터를 생성한다. 이온층 보정의 경우 단일 주파수와 이중 주파수를 이용한 오차 보정을 포함하고 있으며 각 보정 알고리즘은 GPS와 갈릴레오 신호에 각각 적용된다. 이온층 보정에 있어서 단일 주파수를 이용하는 방법은 GPS와 갈릴레오 항법 메시지에 있는 변수를 이용하는 방법이 있으며 이중 주파수를 이용하는 경우는 다른 주파수 대역을 동시에 사용할 경우 공통오차를 계산함으로써 이온층 지연오차를 제거할 수 있다. GPS의

경우는 L1과 L2C 신호를 이용하여 이온층 오차를 제거하고 갈릴레오의 경우는 E1과 E5 신호를 이용하여 오차를 계산할 수 있다. 기본적으로 GPS와 갈릴레오의 오차 제거는 같은 방법을 사용한다. 식 (1)은 이중 주파수를 이용할 경우 오차 보정식을 보여주고 있다(Misra & Enge 2001).

$$\Psi^* = \frac{f_1^2}{(f_1^2 - f_2^2)} \Psi_1 - \frac{f_2^2}{(f_2^2 - f_1^2)} \Psi_2 \quad (1)$$

여기서 f_1 과 f_2 는 주파수를 나타내고 Ψ_1 는 f_1 주파수 코드를 이용하여 측정한 의사거리, Ψ_2 는 f_2 주파수 코드를 이용하여 측정한 의사거리를 나타낸다. Ψ^* 는 이온 오차 보정이 이루어진 의사거리를 나타낸다.

대류권의 영향은 지역적인 온도, 기압, 습도에 의해 좌우되기 때문에 GPS 신호를 발신하는 위성은 대류권의 영향을 보정할 수 있는 어떠한 정보도 주지 않는다. 만일 이 영향이 보정되지 않는다면 고도각에 따라 거리 오차가 약 2.4m에서 25m까지도 발생하게 되고, 고도각이 낮아질수록 대류권의 영향은 커지게 된다. 이에 따라, 대류권의 영향을 보정할 수 있는 다양한 모델이 제안되었으며(Kaplan & Hegarty 2006), 이 분야의 연구는 현재까지 지속적으로 이루어지고 있다.

그밖에 위성시계 오차를 보정하기 위한 위성시계의 편의량은 추정된 신호발신시각이 GPS 기준 시각에서 편의된 정도를 의미하는 것으로 상대성 효과의 보정으로도 제거되지 않은 오차에 기인하며 이는 위성의 운동궤도가 원이며 지구가 구라는 가정 때문이다(Kaplan & Hegarty 2006). GPS와 갈릴레오는 위성 보정 파라미터를 전송하므로 이를 이용하여 보정을 수행한다. 위성 위치 보정은 위성 신호의 송신과 수신차이의 좌표계 보정을 통하여 이루어진다.

3.4 항법해 결정 알고리즘

항법해 결정 기능은 보정된 측정 데이터를 이용하여 항법해를 계산하는 기능으로, 항법 알고리즘을 처리하고, 정확도 향상 알고리즘을 이용하여 항법해를 출력한다. 항법해 계산을 위해서는 위성 위치에 관련된 변수와 계산식을 통해 위성위치를 계산하고 측정 데이터와 함께 항법해를 계산해 낸다. 측정의 정밀도를 높이기 위하여 반송파 위상 평활화 기법과 칼만 필터 알고리즘을 도입하였으며 GPS와 갈릴레오를 통합하여 복합해를 구하기 위하여 GPS/갈릴레오 시각 및 좌표계 동기 알고리즘을 적용하였다. 식 (2)와 식 (3)은 반송파 위상 평활화 기법을 나타내고 있다(Dickman & Bartone 2008).

$$\hat{\rho}_R^j(k) = \frac{1}{N_{sample}} \rho_R^j(k) + \left(1 - \frac{1}{N_{sample}}\right) \tilde{\rho}_R^j(k) \quad (2)$$

$$\tilde{\rho}_R^j(k) = \tilde{\rho}_R^j(k-1) + [\Phi_R^j(k) - \Phi_R^j(k-1)] \quad (3)$$

여기서 $\hat{\rho}_R^j(k)$ 는 평활화된 의사거리, k 는 측정 순간, $\tilde{\rho}_R^j(k)$ 는 코드를 이용하여 측정된 의사거리, Φ_R^j 는 반송파 위상값, N_{sample} 는 샘플의 개수를 나타내며 일정 시간 이후에는 고정된 값을 사용한다.

수신기의 위치를 계산하기 위해서는 칼만필터를 사용한다. 칼만필터는 시스템의 동적모델, 시스템 출력의 측정값, 시스템과 측정치에 대한 대략적인 통계 정보, 시스템의 초기 정보 등을 이용하여 시스템의 상태를 추정하는 순화방식의 데이터 처리방법이다. 그림 2는 칼만필터의 처리 과정을 보여주고 있다(Vallado 2001).

GPS와 갈릴레오 신호를 동시에 이용하기 위해서는 위성 시각과 좌표를 동기화 시켜야 한다. 위성 사이의 시각 차이는 갈릴레오 항법메시지에서 시각차이의 파라미터를 수집하여 동기화가 가능하

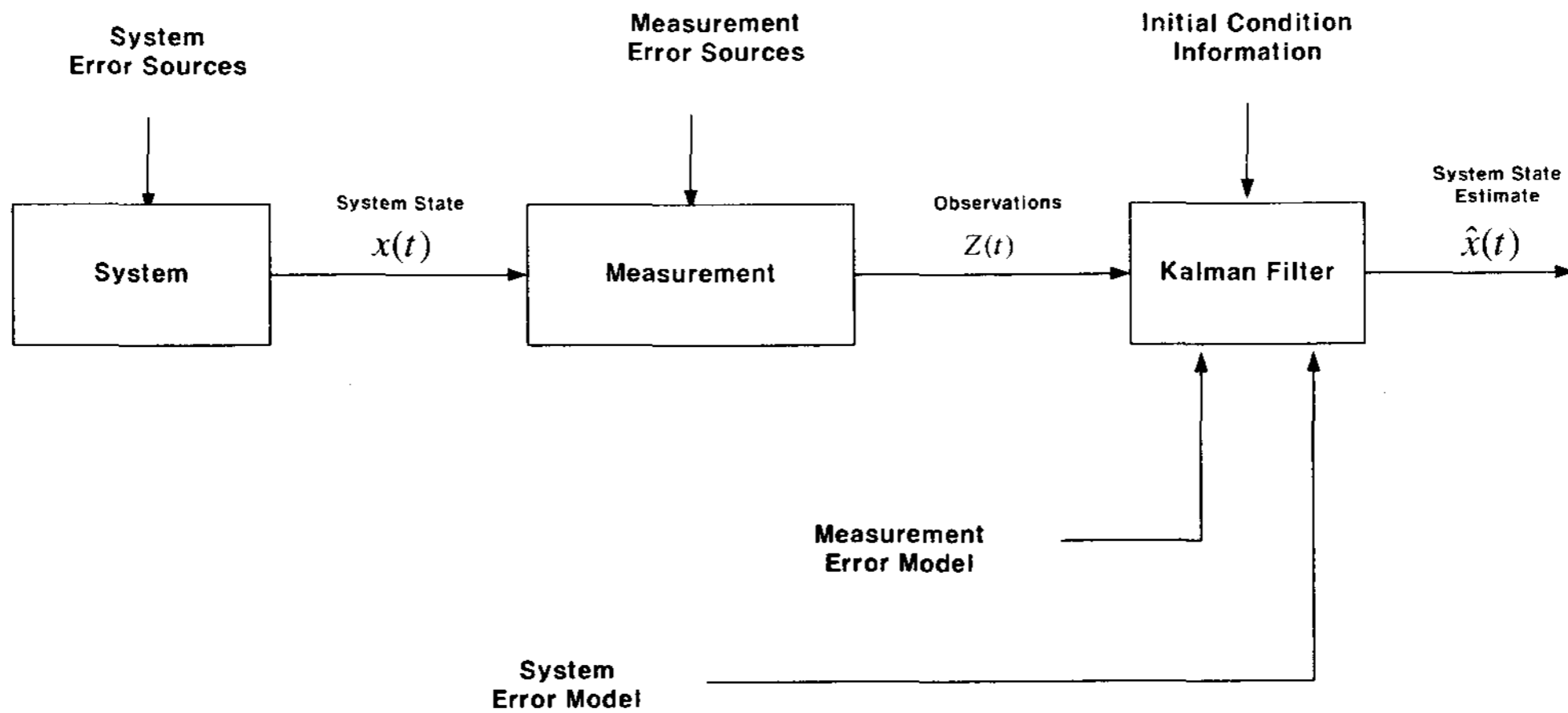


그림 2. 칼만 필터 처리 과정.

며 좌표계의 경우는 표준 좌표계로 변환을 하여 가능하지만 실제로 GPS와 갈릴레오 사이의 좌표계 차이는 수 cm 수준에 불과하다(Borre et al. 2007).

3.5 독립 품질 감시 기능

독립 품질 감시 기능은 위성항법 신호감시국에서 제공하는 각종 데이터의 품질을 검증하는 기능으로 측정데이터, 항법 메시지, 항법해의 데이터 품질을 검증한다. 그밖에 사이클 슬립 현상을 감시하거나 계산된 오차 및 항법해의 정밀도 등도 동시에 감시하여 위성신호의 품질을 감시하게 된다. 신호 품질을 검사는 신호의 이상이나 간섭을 검출하고 확인하는 방법으로 Evil Waveform 검사, 수신 신호 전력 검사, 코드-반송파 발산 검사 등이 있다(Bruce 2000). 데이터 품질 검사로는 항법 데이터의 오류를 검사하는 방법과 갈릴레오 위성의 경우 CRC(Cyclic Redundancy Check) 검사가 있다. 측정치 검사는 반송파 정보를 이용하여 코드의 발산 현상을 검출할 수 있어야 한다. GPS 수신기는 코드와 반송파 위상정보를 이용하여 의사거리를 계산하며, 의사거리는 위성 시계오차, 궤도오차, 이온층 및 대류층 지연 오차, 수신기 시계오차, 다중 경로 오차, 수신기 측정 잡음을 포함한다. 기준국용 수신기는 보상을 통해 위성 시계 오차, 궤도 오차, 이온층 및 대류층 지연오차와 같은 공통오차를 제거할 수 있으며, 이온층 폭풍에 의한 지연 오차, 다중경로 오차, 수신기 측정 잡음과 같은 비 공통오차는 제거가 불가능하다. 측정 데이터 검사는 비 공통오차로 인하여 발생하는 측정치 이상을 검사하는 기법으로 측정치 변화 검사, 필터 발산 검사, Sigma-Value 검사, B-value 검사로 이루어진다(Bruce 2000).

4. 감시제어시스템 설계

감시제어시스템의 소프트웨어 설계에는 OOD(Object Oriented Design) 설계 기법을 도입하였다. OOD설계의 경우, Object별 구성을 함으로써 재사용성을 높이고 소프트웨어 구조를 효율적으로 설계할 수 있는 방법이다(Lee et al. 2005). 감시제어시스템에 OOD 개념을 도입하기 위해 UML(Unified

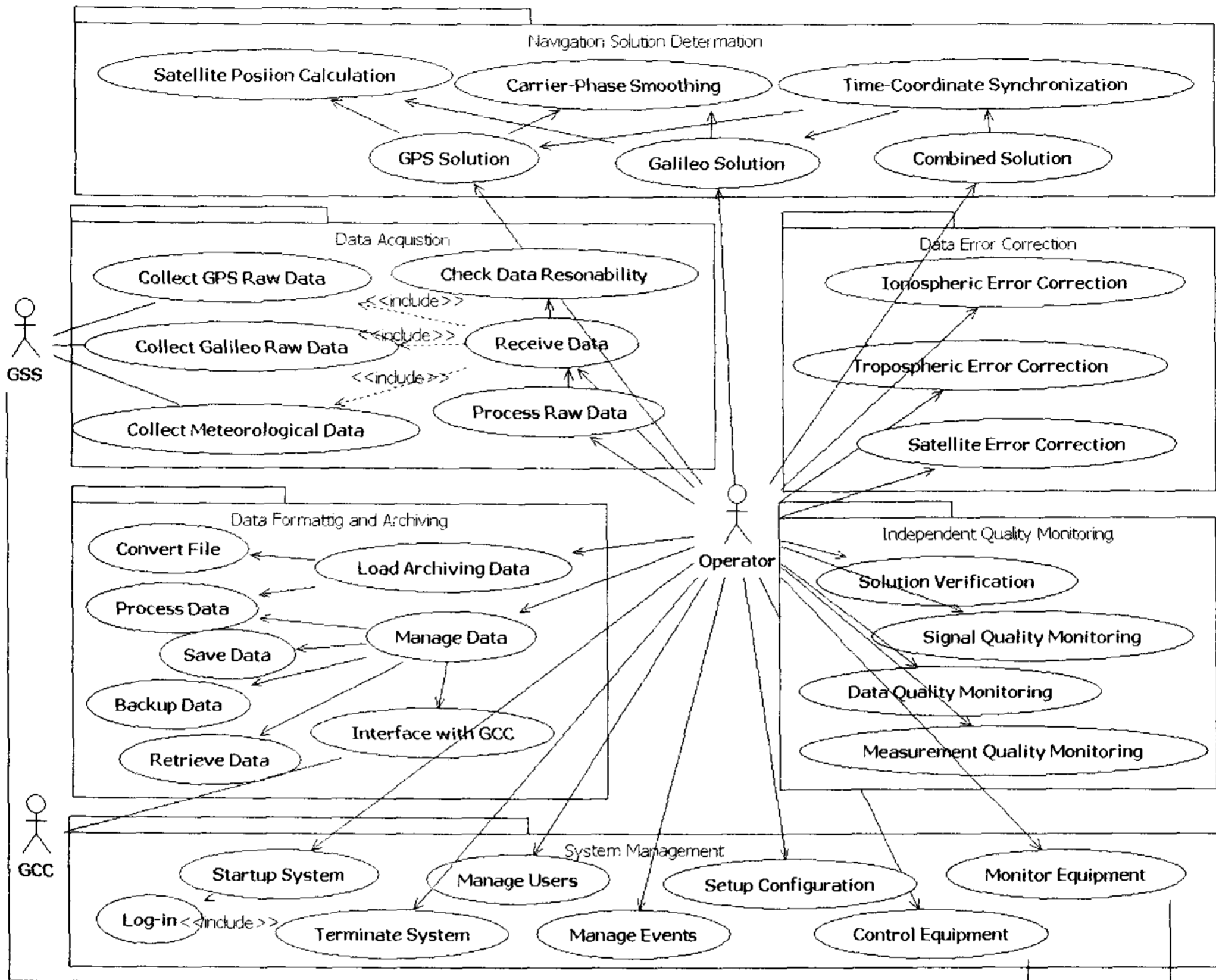


그림 3. 감시제어시스템 유스케이스.

Modeling Language)을 이용하여 설계하였다. 이에 따라 감시제어시스템의 설계는 유스케이스 모델, 도메인 설계, 소프트웨어 구조 설계, 사용자 인터페이스 설계 등의 내용을 포함하고 있다.

4.1 유스케이스 모델

유스케이스 모델은 운영자의 관점에서 분석한 것으로 각 유스케이스는 사용자가 요구하는 기능 별로 분류될 수 있다. 감시제어시스템은 운영에 필요한 6개의 큰 패키지로 유스케이스를 분류하였다. 데이터 수집, 데이터 포매팅 및 저장, 데이터 오차 보정, 항법해 결정, 독립 품질 감시, 시스템 운영 및 유지로 구성되어 있으며 각 패키지에 사용자가 필요한 기능으로 구성되어 있다. 그림 3은 감시 제어시스템의 전체 유스케이스 다이어그램을 나타내고 있다. 유스케이스의 패키지는 유사 기능별로 분류 하였으며 각 유스케이스와 액터의 관계도 나타나있다.

4.2 도메인 설계

도메인 설계는 클래스 설계와 유스케이스가 구체적으로 구현되는 것을 보여주는 유스케이스 형 상화로 구체화 하였다. 클래스 설계는 소프트웨어가 구성이 될 경우, 해당 모듈의 클래스를 개념적

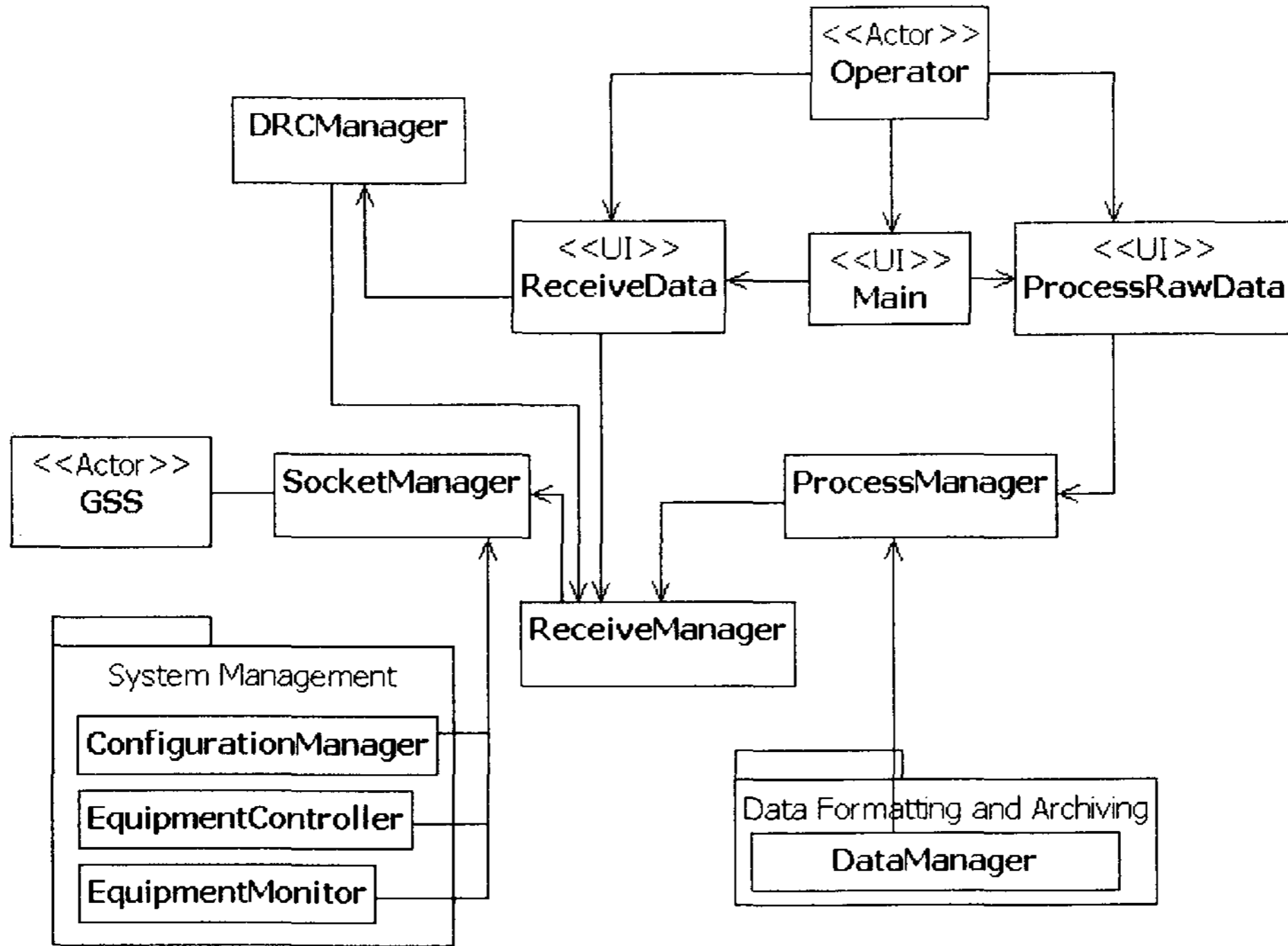


그림 4. 데이터 수집 모듈 클래스 다이어그램.

으로 나타낸 모델로서 그림 4는 데이터 수집 모듈의 클래스 설계를 예시로 보여주고 있다.

유스케이스 형상화는 유스케이스별로 각 클래스가 어떻게 연관되어서 해당 기능을 수행하는지를 보여주는 그림이다. 클래스 사이의 관계도를 나타내거나 클래스들 사이의 순서를 나타내는 그림을 통해서 보여주는 데 그림 5는 위성위치계산 유스케이스를 형상화한 다이어그램이다.

4.3 소프트웨어 구조 설계

소프트웨어 구조 설계는 패키지 설계, 컴포넌트 설계, 프로세서 설계를 통하여 소프트웨어의 구조에 대한 설계를 하는 것으로, 패키지는 소프트웨어 파일구조를, 컴포넌트는 각 모듈로 나눌 구조를, 프로세서는 소프트웨어의 프로세서 구조특성을 나타낸다. 패키지는 프로그램의 물리적 구현에 있어서 소프트웨어의 클래스 집합을 의미한다. 각각의 패키지는 하부 클래스를 포함하고 구현 당시 하나의 폴더로 분류된다. 감시제어시스템은 7개의 패키지로 구성되며 각각의 패키지는 클래스설계에서 정의된 클래스들을 포함하고 있다. 각 패키지의 기능에 따라서 클래스의 포함과 분리가 결정된다. 그림 6은 감시제어시스템의 패키지 설계를 보여주고 있다. MainUI 패키지는 운영자 인터페이스를 제공하고 시스템을 전체적으로 관리하는 SystemManagement 패키지와의 통로 역할을 한다. SystemManagement 패키지는 프로그램 전체 패키지를 관리한다. DataAcquisition 패키지는 데이터의 수집을 담당하고 DataManager 패키지는 수집된 데이터의 처리와 저장을 담당한다. ErrorCorrection 패키지는 데

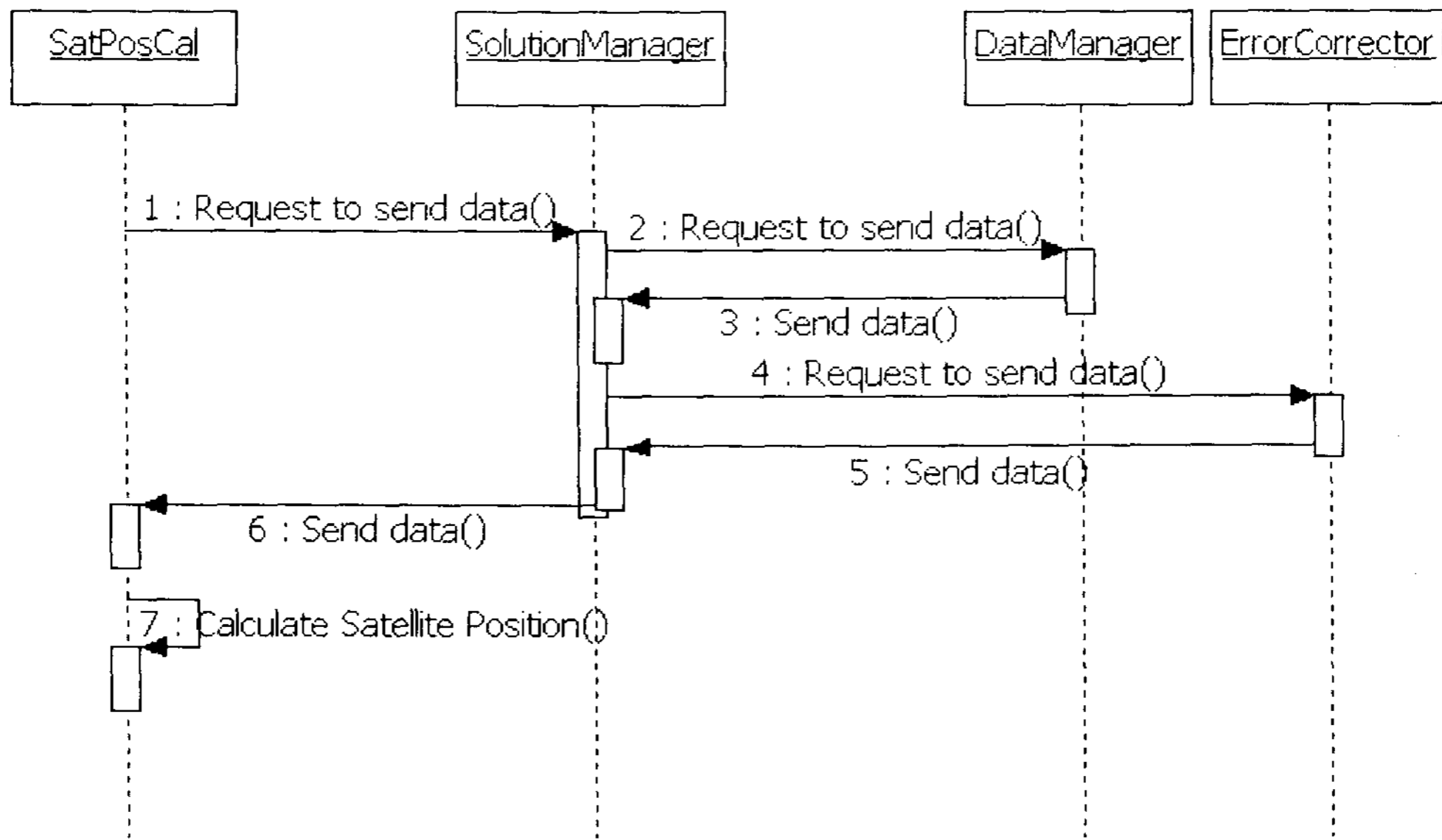


그림 5. 위성위치계산 유스케이스 형상화.

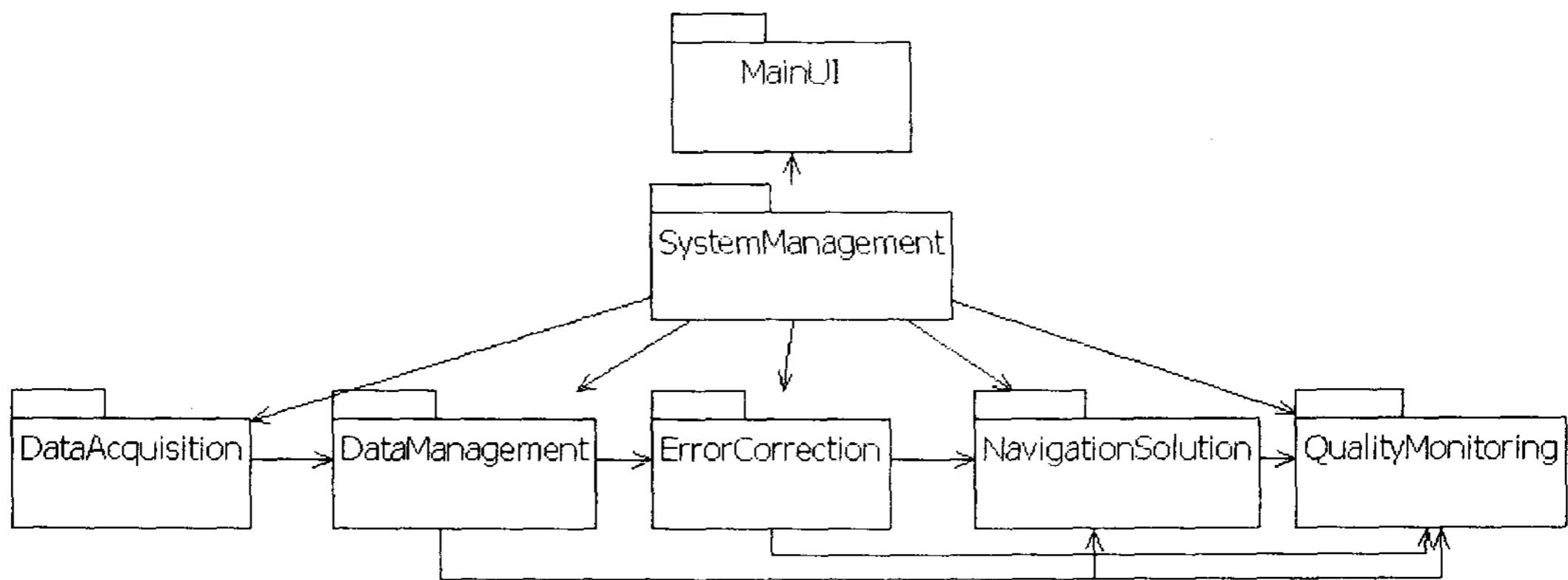


그림 6. 감시제어 패키지 설계.

이더 보정을 NavigationSolution 패키지는 항법해의 계산을 QualityMonitoring 패키지는 품질 감시를 각각 담당하며, 각 패키지는 처리하는 데이터에 따라 유기적으로 연관되어 있다

그림 7은 감시제어시스템의 컴포넌트 설계를 보여주고 있으며 감시제어시스템은 9개의 컴포넌트로 구성되어 있다. 그림 8은 감시제어시스템의 프로세서 설계를 보여주고 있다. 감시제어시스템은 총 15개로 구성되어 있다. 15개의 프로세서는 6개의 실행 프로세서와 9개의 동적 링크 라이브러리로 구분된다.

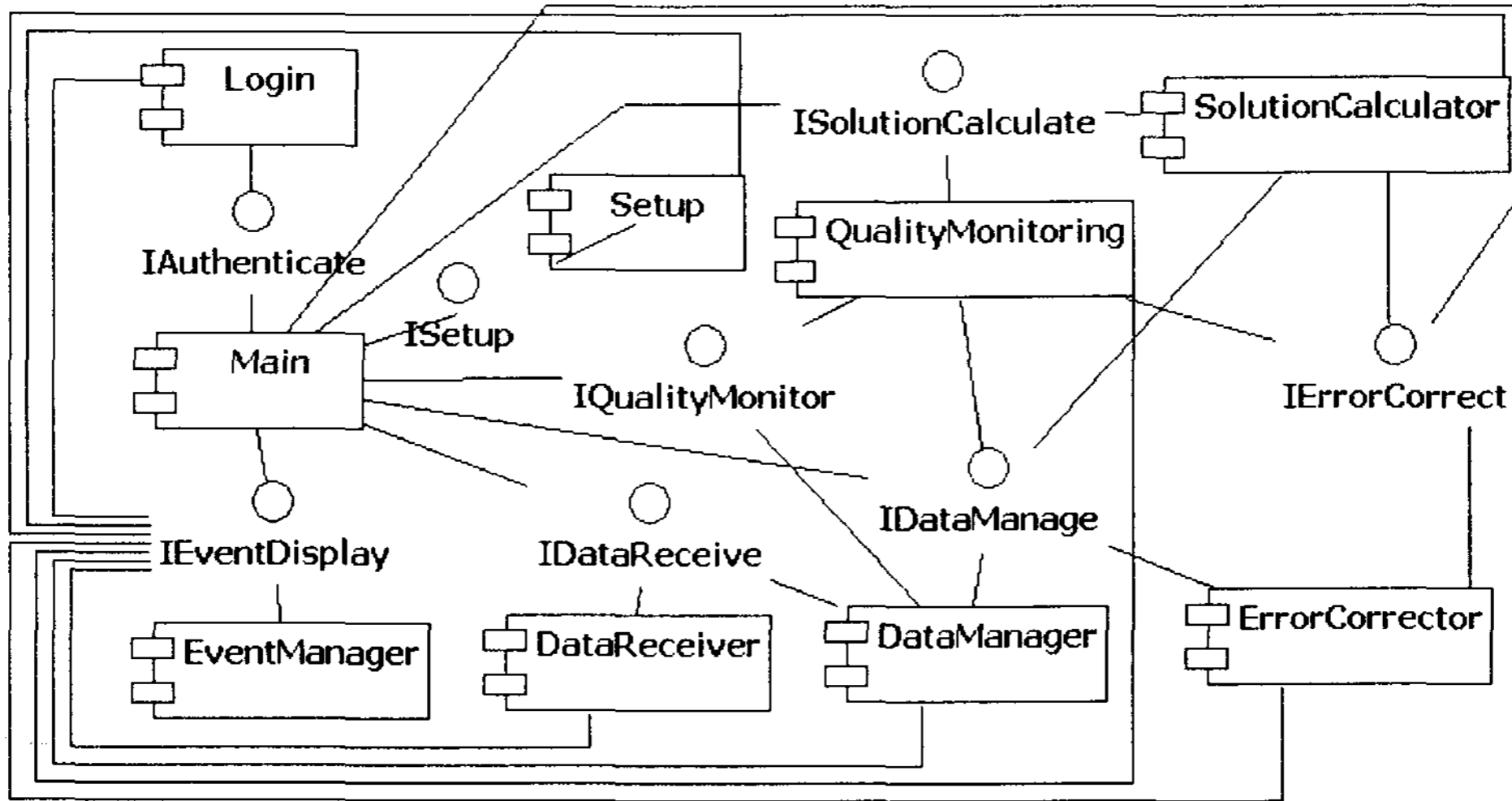


그림 7. 감시제어시스템 컴포넌트 설계.

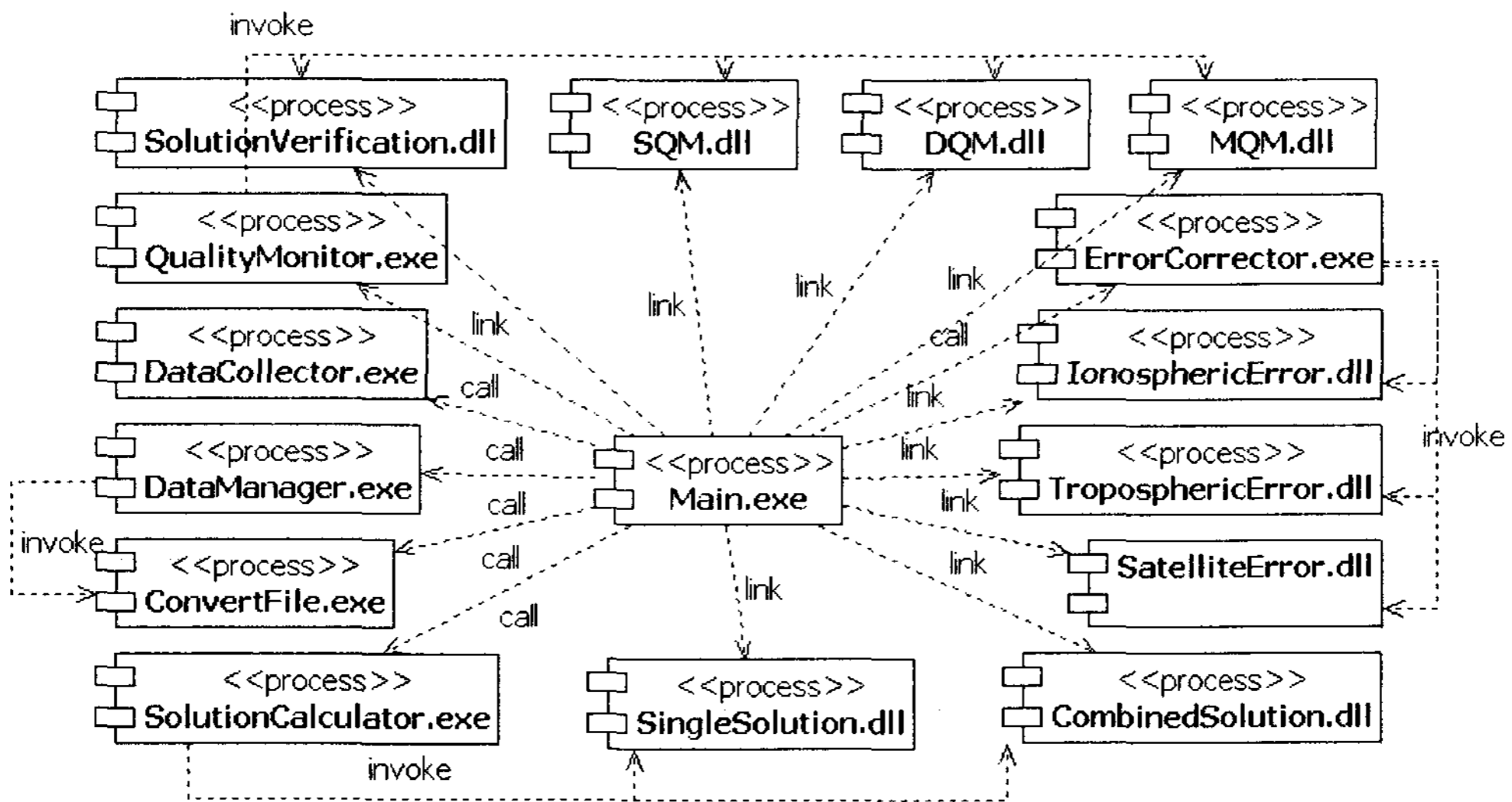


그림 8. 감시제어시스템 프로세서 설계.

4.4 사용자 인터페이스 구조 설계

사용자 인터페이스 구조 설계는 사용자가 사용할 소프트웨어의 그래픽의 구조를 설계하는 것으로 인터페이스 구조 설계와 인터페이스 형상으로 구분된다. 그림 9는 감시제어시스템의 사용자 인터페이스 구조를 보여주고 있다. 기능별로 사용자가 접근하기 쉽도록 구조를 설계하였다.

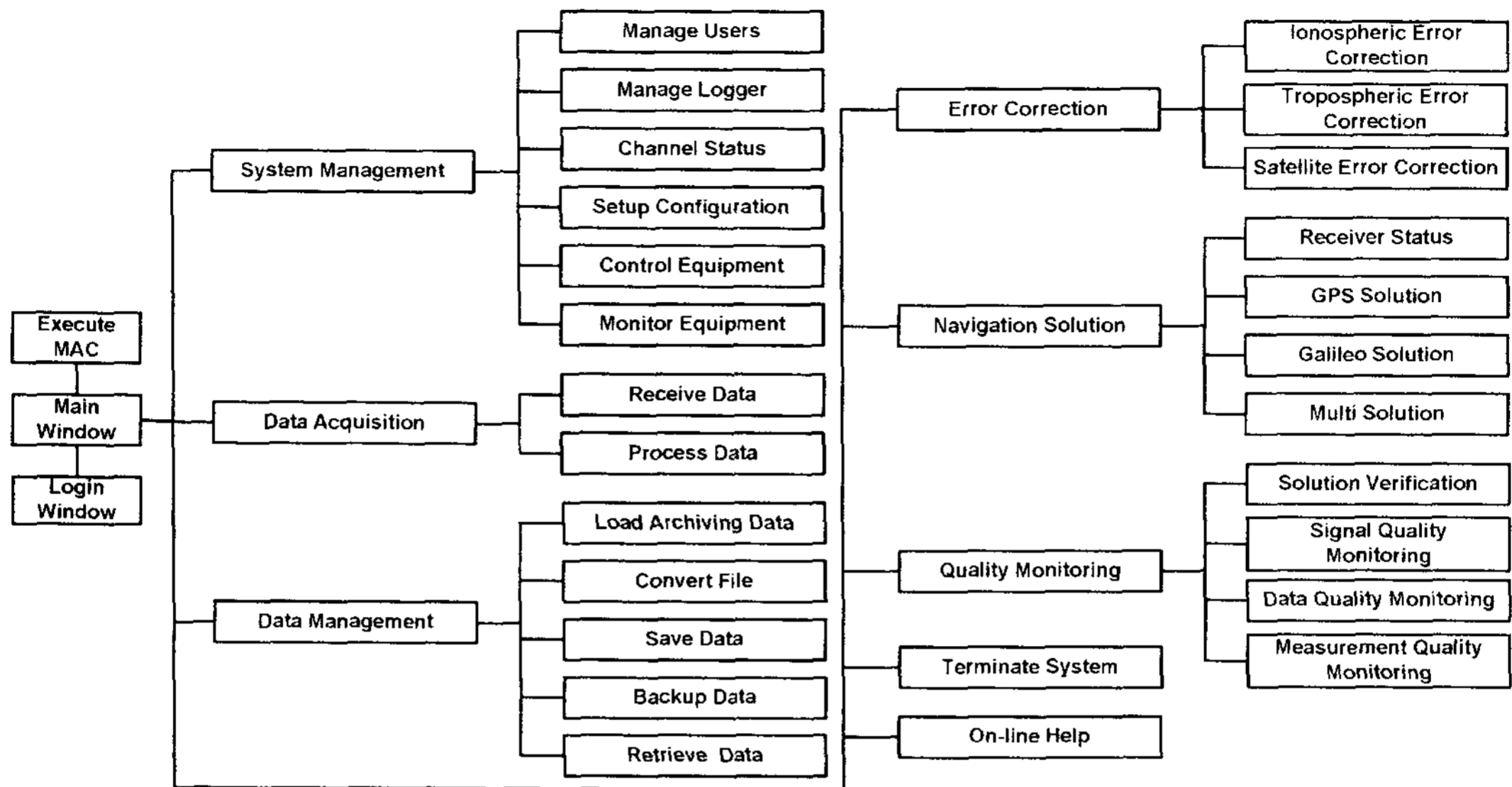


그림 9. 사용자 인터페이스 구조 설계.

5. 결론

위성항법 지상국은 위성항법시스템의 중요 인프라에 속하며 위성항법시스템의 다양한 활용에 이용될 수 있다. 감시제어시스템은 지상국의 운용 능력을 향상시키고 신뢰할 수 있는 데이터 생성에 기여할 수 있도록 설계 되었다. 감시제어시스템은 데이터 수집, 데이터 포매팅 및 저장, 데이터 오차 보정, 항법해 결정, 독립 품질 감시, 시스템 운용 및 유지 등의 모듈로 구성되어 있으며 UML 표준 방식에 따라 예비 설계를 진행 하였다.

감사의 글: 이 연구는 지식경제부(구 정보통신부) 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력 핵심기술 개발사업의 일환으로 수행하였음(2007-S-301-01, 위성항법지상국시스템 및 탐색구조단말기 기술개발 사업).

참고문헌

- 송종화, 지규인, 정성균, 이상욱, 김재훈 2008, 한국항공우주학회지, 36, 171
- Borre, K., Akos, D. M., Bertelsen, N., Rinder, P., & Jensen, S. H. 2007, A Software-Defined GPS and Galileo Receiver (Boston: Birkhauser), pp.134-135
- Bruce, A. S. 2000, ION GPS 2000, pp.189-198
- Dickman, J. & Bartone, C. 2008, GPS Solutions, 12, 119
- Jeong, S. K., Kim, I. J., Lee, J. E., Lee, S. U., & Kim, J. H. 2007, JA&SS, 24, 389
- Kaplan, E. D. & Hegarty, C. J. 2006, Understanding GPS Principles and Applications (Norwood: Artech House), pp.314-319

Lee, S. U., Cho, S. K., Lee, B. S., & Kim, J. H. 2005, *ETRI Journal*, 27, 140

Misra, P. & Enge, P. 2001, *Global Positioning System* (Massachusetts: Ganga-Jamuna Press), pp.137-144

Vallado, D. A. 2001, *Fundamentals of Astrodynamics and Applications* (El Segundo: Microcosm Press), pp.718-739