**1.개요**

**1.1**

**1.2**

**1.3 목적 (Purpose)**

**1.3.1 이 모델링 표준에 대하여**

* **목표**: 철도 신호 시스템(CCS)의 모델 기반 시스템 엔지니어링(MBSE)을 위한 필수 지침 제공
* **사용 언어**: 시스템 모델링 언어(SysML)를 활용
* **안전 표준 준수**: EN 50126, EN 50128, EN 50129, EN 50159
* **모델링 이론 적용**: MBSE 스팩 프레임워크(MBSE SF)를 통해 단계별 디지털 CCS 사양 정의

**1.3.2 대상 독자 (Audience)**

* 철도 신호 시스템(CCS)에 익숙한 엔지니어
* 이 분야에서 모델링을 수행하는 전문가
* EULYNX의 MBSE 접근 방식을 이해하고자 하는 사람

**1.4 용어 및 약어 (Terms and Abbreviations)**

EULYNX 용어집(Eu.Doc.9)에 등록된 약어 목록이 포함됨. 주요 약어 예시:

* **MBSE**: Model-Based Systems Engineering
* **CCS**: Command Control and Signalling
* **SysML**: Systems Modeling Language
* **SCI**: Standard Communication Interface
* **ILS**: Interlocking System
* **EIL**: Electronic Interlocking
* **RAMS**: Reliability, Availability, Maintainability, and Safety

**1.5 관련 문서 (Related Documents)**

EULYNX 문서 계획(Eu.Doc.11)에 포함된 문서 목록:

* 시스템 엔지니어링 프로세스(Eu.Doc.27)
* 모델 기반 요구 사항 해석 규칙(Eu.Doc.29)

**3. 소개 (Introduction)**

**3.1 배경 (Motivation)**

* 과거 철도 신호 시스템은 **독점적인 인터페이스**를 가진 단일 시스템으로 공급됨
* 최근에는 **모듈형 시스템 구매**로 전환, 각 부품을 개별적으로 공급 가능
* 이를 위해 **디지털 CCS의 표준 인터페이스 개발 필요**
* 기존 자연어 기반 요구사항 문서화의 문제점 해결을 위해 **SysML을 이용한 모델링 접근 방식 적용**
* MBSE를 통해 **시뮬레이션을 통한 안전성 검증 가능**

**요구사항 정의의 주요 문제점**

1. 전문가가 요구사항을 완전히 이해하지 못함
2. 잘못된 방식으로 요구사항이 명시됨
3. 비공식적인 방식으로 요구사항이 정의되어 개발자가 잘못 해석함

➡ 이를 해결하기 위해 **MBSE 기반의 요구사항 정의 방식 적용**

**3.2 모델링 표준의 구조 (Structure of the Modelling Standard)**

**텍스트, 스크린샷, 도표, 폰트이(가) 표시된 사진

AI가 생성한 콘텐츠는 부정확할 수 있습니다.**

* **3장: 모델링 표준 소개**
* **4장: MBSE 스팩 프레임워크(MBSE SF) 구조 소개**
* **5장: 모델링 언어(SysML) 소개**
* **6장: MBSE 도구 체인 및 요구사항 설명**
* **7장: 사용자 요구사항 정의**
* **8장: EULYNX MBSE 아키텍처 모델 소개 및 모델링 규칙 설명**
* **9장: 참고 문헌**
* **10장: EULYNX 프로세스 구현을 위한 도구 체인 설명**

**4. MBSE 스팩 프레임워크 (MBSE Specification Framework)**

**철도 분야의 CCS(신호 제어 시스템) 개발은 현재와 미래에 걸쳐 다양한 도전 과제에 직면해 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위한 핵심 성공 요소는 적절한 아키텍처 설계 개념을 적용하여 CCS 시스템을 다양한 추상화 수준에서 구조화 하는 것입니다.**

**이러한 개념을 적용한 결과, 재사용 및 자동화를 극대화하는 원활한 개발 접근 방식이 탄생했습니다. 이를 위해, 시스템을 공식적으로 모델링하는 포괄적인 이론 체계가 필요하며, 이를 기반으로 한 모델링 프레임워크는 시스템 개발의 다양한 측면과 산출물을 모델링하는 데 적합한 기법을 제공해야 합니다.**

**이러한 배경에서 MBSE 스팩 프레임워크(MBSE SF)가 도입되었습니다. EULYNX의 MBSE SF는 다음과 같은 작업을 지원합니다.**

* **EULYNX 스팩 하의 서브시스템(SUS, Subsystems Under Specification)의 모델 기반 명세**
* **EULYNX 관련 시스템 및 서브시스템 간 인터페이스(SIUS, System Interfaces and Subsystem Interfaces Under Specification)의 명세**
* **결과물의 검증 및 확인(Verification & Validation)**

**MBSE SF의 주요 구성 요소**

**MBSE SF는 다섯 개의 주요 영역으로 구성됩니다.**

* **사용자 요구사항 (User Requirements): 사용자의 요구사항을 정의하는 영역**
* **시스템 요구사항 (System Requirements): 기술적인 시스템 요구사항을 정의하는 영역**
* **도메인 지식 (Domain Knowledge): CCS 시스템 개발을 위한 필수적인 기술 및 철도 도메인 지식 제공**
* **MBSE 프로세스 (MBSE Process): MBSE 접근 방식에 따라 모델링을 체계적으로 수행하는 방법론 제공**
* **모델링 언어 및 도구 (Modelling Language and Tools): SysML과 같은 모델링 언어 및 도구를 사용하여 요구사항을 명확하게 표현**

**핵심 개념**

* **MBSE 프로세스와 도메인 지식을 기반으로 사용자 요구사항과 기술적인 시스템 요구사항을 엄격히 구분하여 모델링함. 즉, MBSE SF는 철도 CCS 시스템의 체계적인 설계, 검증 및 표준화를 위한 핵심 모델링 프레임 워크입니다.**

텍스트, 스크린샷, 폰트, 번호이(가) 표시된 사진

AI가 생성한 콘텐츠는 부정확할 수 있습니다.

1. 사용자 요구사항에서 도출된 **설계 결정**을 바탕으로 **시스템 모델을 명세**하고, 이를 통해 새로운 사용자 요구사항을 도출한다.
2. **시스템 모델을 정제하거나 분해**하여 **세분화 수준을 증가**시킨다.
3. **시스템 모델의 정제 또는 분해 과정이 일관되게 수행되었는지 검증**한다.
4. **이해관계자의 의도가 완전하고 정확하게 반영되었는지 확인**한다.
5. 사용자 요구사항이 충족되었음을 검증(증명)한다.
6. **스팩화(Specification), 검증(Verification) 및 검토(Validation) 작업의 기반으로 도메인 지식(Domain Knowledge)과 MBSE 프로세스를 활용**한다.

**사용자 요구 사항 (User Requirements)**  
철도 시스템에서 발생할 수 있는 문제를 정의한 후에 그 문제를 해결하기 위해 시스템이 어떻게 작동해야 하는지 다양한 이해 관계자가 미래 시스템에서 기대하는 바를 구체적으로 명시합니다. 이 요구 사항들은 추상적인 시스템 해결책(시스템 모델)을 생성하기 위한 설계 결정을 유도하는 주요 요소이며, 이 모델 자체는 다시 새로운(아마도 더 세부적인) 사용자 요구 사항을 이끌어내는 요소가 될 수 있습니다.  
사용자 요구 사항에서 유도된 설계 결정이 시스템 모델에 완전하고 정확하게 반영되었는지 검증해야 합니다. 즉, 시스템 모델이 정의된 모든 사용자 요구 사항을 충족하는지 증명해야 합니다.  
또한, 사용자 요구 사항은 시스템 모델이 이해 관계자의 의도를 완전하고 정확하게 반영하는지 검증하는 출처이기도 합니다. "사용자 요구 사항" 영역은 7장에서 더 자세히 설명됩니다.

텍스트, 스크린샷, 도표, 라인이(가) 표시된 사진

AI가 생성한 콘텐츠는 부정확할 수 있습니다.

**시스템 요구 사항 (System Requirements)**  
"시스템 요구 사항" 영역은 시스템의 추상적인 해결책을 나타내는 시스템 모델 형태로 솔루션 도메인의 모델을 포함합니다 (그림 1484 참조). 여기에는 사용자 요구 사항에서 유도된 설계 결정들이 아키텍처 모델 MBSE(AM MBSE)를 기반으로 다양한 수준의 추상화로 문서화(명세화)되어 있습니다. 각 추상화 수준은 그 이전 수준의 구현을 세분화하거나 분해하는 설계 결정을 나타냅니다.정확하고 완전하며 일관된 정제 또는 분해가 검증 단계에서 승인되어야 합니다.아키텍처 모델 MBSE는 8장에서 더 자세히 설명됩니다.

**도메인 지식 (Domain Knowledge)**  
도메인 지식 모델은 문제 도메인에 대한 가용 지식을 포함하며, 이는 프로젝트 용어집과 유사합니다. 따라서 시스템의 지식 맥락의 일부를 구성하며, 오해를 줄이고 모호성을 줄이며 시스템 모델의 조기 검증 및 검토 가능성을 제공합니다.  
EULYNX에 관련된 도메인 지식은 Eu.Doc.9 EULYNX 용어집과 Eu.Doc.10 EULYNX 도메인 지식에서 정의됩니다. 이 문서들은 EULYNX 웹사이트에서 확인할 수 있습니다 [31].

**MBSE 프로세스 (MBSE Process)**  
시스템 모델의 산출물(요구사항 문서, 설계문서, 테스트 계획서 등등) 간 관계는 관계에 의해 명시됩니다. 이러한 관계는 산출물 생성 및 분석을 위한 일반적인 기법을 정의하는 프로세스 활동으로 표현될 수 있습니다. MBSE 프로세스에서는 이러한 여러 프로세스 활동이 순서대로 결합됩니다. 한 프로세스 활동의 출력은 다른 프로세스 활동의 입력이 될 수 있습니다. 또한, 하나의 프로세스 활동의 후조건은 다른 프로세스 활동의 전제 조건이 충족되었음을 보장할 수 있습니다.  
EULYNX MBSE 프로세스는 8.1장에서 원칙적으로 설명됩니다. 프로세스 단계에 대한 자세한 설명은 향후 별도의 문서에서 제공될 예정입니다. EULYNX 시스템 공학 프로세스는 현재 Eu.Doc.27에 문서화되어 있으며, 명세 모델의 검증 및 검토 절차는 EULYNX 검증 및 검토 계획(Eu.Doc.31)에 문서화되어 있습니다. 이 문서들은 EULYNX 웹사이트에서 확인할 수 있습니다 [31].

**모델링 언어 및 도구 (Modelling Language and Tools)**  
EULYNX MBSE 프로세스를 구현하는 데 필요한 지원 도구와 제안된 모델링 언어는 각각 5장과 6장에서 소개됩니다.

**5 모델링 언어**

**5.1 시스템 모델링 언어(SysML)**

시스템 모델링 언어(SysML)는 요구 사항을 문서화하고 산출물을 표준화된 방식으로 지정하여 MBSE 사양 구조 내에서 일관되게 정의하는 데 사용됩니다. SysML은 시스템 엔지니어링 애플리케이션을 위해 고안된 표준화된 모델링 언어로, UML 2.5의 일부를 재사용하면서 시스템 엔지니어링의 특수한 요구 사항을 충족하기 위해 확장된 기능을 제공합니다. 이 언어는 복잡한 시스템과 그 하위 시스템을 설계하고 명세하는 데 도움이 되며, 이를 분석, 검증 및 검토할 수 있게 해줍니다. 이 시스템은 하드웨어, 소프트웨어, 정보, 프로세스, 인력 및 시설 등 이질적인 구성 요소로 이루어져 있을 수 있습니다. SysML에는 모델을 시각화하거나 텍스트로 표현할 수 있는 9개의 다이어그램이 있으며, 각 다이어그램은 SUS 또는 SIUS 모델의 특정 뷰를 나타냅니다.

텍스트, 스크린샷, 소프트웨어, 폰트이(가) 표시된 사진

AI가 생성한 콘텐츠는 부정확할 수 있습니다.

**5.2 행동 언어(Action Language)**

이 모델링 표준에서 설명된 명세 접근법은 실행 가능한 명세 모델을 생성하는 것을 목표로 합니다. 이를 위해 SysML에서 필요한 실행 가능한 동작을 명시하기 위해 Atego Structured Action Language(ASAL)을 사용합니다. ASAL은 대상 언어에 독립적인 방식으로 실행 가능한 알고리즘을 명시할 수 있는 UML 액션 언어입니다. 이 언어는 상태 기계 다이어그램을 사용하여 SUS 또는 SIUS의 자극-반응 행동을 설명하는 Event Action Block을 명시하는 데 사용됩니다.

**5.2.1 데이터 유형의 역할**

이 모델링 표준에서 설명된 명세 접근법에 따라, **데이터 유형**은 데이터의 종류(예: SUS 인터페이스를 통해 전송되는 메시지의 유형)를 식별하여 분류된 것입니다. 데이터 유형은 Boolean, Integer, String 등으로 제한되며, 데이터의 의미와 저장 방식, 해당 데이터를 수신하는 상태 기계가 어떻게 반응할지를 정의합니다.

**6 도구**

EULYNX MBSE 프로세스는 SysML 명세 모델을 생성하고, 그 모델의 완전성, 정확성 및 일관성을 정적 검사하며, 시뮬레이션 기반 검증을 가능하게 하는 도구 체인을 지원해야 합니다. 또한, 실행 가능한 모델을 바로 생성할 수 있어야 하며, 형식적 방법을 사용할 수 있어야 합니다(예: 안전 속성의 형식적 증명, 모델 검증 등).

**7 사용자 요구 사항**

**7.1 개요**

EN 50126과 같은 여러 표준에서는 사용자 요구 사항과 시스템 요구 사항 정의 단계를 구분하지 않으므로, 이 모델링 표준에서는 이를 명확히 구분하여 정의합니다. 사용자 요구 사항은 문제 도메인을 정의하며, 이해 관계자들이 SUS/SIUS에서 원하는 결과를 명확히 할 수 있게 합니다. 사용자 요구 사항은 **시스템 요구 사항**을 정의하기 전에 먼저 정의되어야 하며, 이 시스템 요구 사항은 사용자 요구 사항을 충족해야 합니다.

텍스트, 스크린샷, 폰트, 번호이(가) 표시된 사진

AI가 생성한 콘텐츠는 부정확할 수 있습니다.

**7.2 안전 요구 사항**

안전 요구 사항은 시스템이 충족해야 하는 **안전 불변 조건**을 정의하며, 사고를 방지하는 데 필요한 요구 사항입니다. 안전 요구 사항은 **규제 기반 수집**, **위험 기반 수집**, **사전 정의된 설계 원칙**에 따라 도출될 수 있습니다. 이 요구 사항들은 시스템 요구 사항 아티팩트에 포함되며, 시뮬레이션 기반 검증 방법이나 형식적 검증 방법을 통해 검증되어야 합니다.

**7.3 사용자 요구 사항 작성**

이 모델링 표준은 사용자 요구 사항을 작성하는 구체적인 방법을 강제하지 않지만, **SysML 명세**에 따라 텍스트 형식으로 요구 사항을 작성하는 것을 권장합니다. SysML의 **요구 사항 다이어그램**을 사용하면 요구 사항을 그래픽적, 표 형식 또는 트리 구조로 표현할 수 있으며, 이를 통해 요구 사항 간의 관계를 쉽게 이해할 수 있습니다.

텍스트, 도표, 스크린샷, 라인이(가) 표시된 사진

AI가 생성한 콘텐츠는 부정확할 수 있습니다.

**8 아키텍처 모델 MBSE**

사용자 요구 사항에서 파생된 설계 결정은 **"Architecture Model MBSE"** 영역에서 SUS 또는 SIUS의 추상적인 해결책 모델 형태로 문서화되고 추적 가능합니다. 이 모델은 **인프라 관리(IM)** 측에서 수행할 사양 작업에 중점을 두며, 다양한 시점(Viewpoint)과 추상화 수준(Abstraction level)을 통해 SUS 또는 SIUS를 설명합니다.

* **시점(Viewpoint)**

시점은 뷰(View)를 구성하고 사용하는 규칙을 지정하는 것입니다. 이는 각 뷰의 목적과 대상을 설정하고, 뷰를 작성하고 분석하는 기술을 포함하는 패턴이나 템플릿을 포함합니다.

* **추상화 수준(Abstraction level)**

추상화 수준은 SUS 또는 SIUS를 분석하는 특정한 추상화 및 세부 사항 수준을 정의합니다. 처음에는 SUS/SIUS를 전체적으로 보고, 점차적으로 세부적인 분석이 이루어집니다. 높은 추상화 수준은 세부 사항이 적고, 낮은 수준으로 갈수록 세부 사항이 늘어나며, 점차 세분화되어 갑니다.

* **정교화(Refinement)**

정교화는 분석 또는 설계 요소를 더 구체적으로 설명하는 과정입니다. 이는 행동 정교화(Behavioral refinement)와 **인터페이스 정교화(Interface refinement)** 두 가지 주요 관계를 포함합니다. 행동 정교화는 같은 문법적 인터페이스를 다루며, 인터페이스 정교화는 다른 문법적 인터페이스를 다룹니다.

* **분해(Decomposition)**

분해는 분석 요소나 설계 요소를 더 작은 부분으로 나누는 것을 의미합니다. 이는 정교화와는 달리, 구조적으로 분할하는 작업입니다.

* **뷰(View)**

뷰는 특정한 시점과 추상화 수준에서 SUS/SIUS를 설명하는 모델을 나타냅니다. 이는 해당 시스템의 **전반적인 관점**을 제공하며, **모델 뷰(model view)** 또는 시스템 뷰(system view)로도 불립니다.

* **엔지니어링 경로(Engineering path)**

SUS/SIUS의 특정 추상화 수준에서 뷰를 개발하는 경로는 엔지니어링 경로로 요약됩니다. 이 경로는 다양한 수준에서 모델을 세부적으로 정의하며 점진적으로 개선됩니다.

* **핵심 시점(Viewpoint)**

AM MBSE는 다음과 같은 핵심 시점을 사용하여 IM 관련 사항을 다룹니다:

* **기능적 시점(Functional Viewpoint)**
* **논리적 시점(Logical Viewpoint)**
* **기술적 시점(Technical Viewpoint)**

이 시점들은 각기 다른 이해관계자의 관심사를 반영하며, 복잡한 시스템일수록 처음에는 높은 수준에서 설명이 시작되고 점차적으로 세부 사항을 다룹니다.

* **추상화 수준(Abstraction levels)**

AM MBSE는 IM 관련 세 가지 핵심 추상화 수준을 제공합니다:

* **AL1: 서브시스템/인터페이스 정의(Subsystem/Interface Definition)**
* **AL2: 서브시스템/인터페이스 요구 사항(Subsystem/Interface Requirements)**
* **AL3: 서브시스템/인터페이스 요구 사항 배분(Apportionment of Subsystem/Interface Requirements)**

이 추상화 수준은 각기 다른 설계 결정을 반영하며, 각 수준은 다시 세분화될 수 있습니다(예: AL1.1, AL1.2 등).

* **교차 시스템 속성(Crosscutting System Properties, CSP)**

AM MBSE의 주요 원칙 중 하나는 \*\*교차 시스템 속성(CSP)\*\*을 지속적으로 엔지니어링하는 것입니다. 이는 시스템의 **RAMS**, **보안**, **실시간 특성** 등을 포함하여 시스템의 모든 과정에 영향을 미치는 특성입니다. 예를 들어, **안전**은 시스템의 거의 모든 과정에 영향을 미치며, 이를 별도의 시점이 아니라 여러 시점에서 다루어야 합니다.

안전은 복잡한 철도 시스템에서 점점 더 중요한 요소로, 기능 개발과 안전 분석은 별개로 다루어서는 안 되며, 안전은 가능한 한 개발 프로세스와 모델에 밀접하게 통합되어야 합니다.

텍스트, 스크린샷, 라인, 번호이(가) 표시된 사진

AI가 생성한 콘텐츠는 부정확할 수 있습니다.