

# 사이버 물리 시스템(CPS)에서 SEDRIS를 통한 지형 환경데이터 표현 방법



**손현승**  
홍익대학교  
전자전산공학과  
박사과정  
(son@selab.hongik.ac.kr)



**김우열**  
홍익대학교  
산업기술연구소  
연구교수  
(john@hongik.ac.kr)



**전인길**  
한국전자통신연구원  
선임연구원  
(igchun@etri.re.kr)



**이해영**  
한국전자통신연구원  
선임연구원  
(haelee@ieee.org)



**전재호**  
한국전자통신연구원  
연구원  
(jeonjaeho11@etri.re.kr)



**김영철**  
홍익대학교  
컴퓨터정보통신  
부교수  
(bob@hongik.ac.kr)

## 1. 서론

CPS(Cyber Physical System)는 내장형 시스템(Embedded System)에 물리적 특성이 반영되고, 네트워크로 연결된 시스템 간의 제어의 중요성이 강조되는 시스템이다<sup>[1]</sup>. CPS는 완전히 새로운 분야가 아닌 센서, 제어로직 그리고 액추에이터를 가지는 대부분의 기존 제어 시스템들을 말한다. 그러나 현재의 임베디드 시스템들이 예전에 비해서 훨씬 복잡해졌고 네트워크를 통해 상호 복합 연동되면서 시스템 설계시 인간의 논리력과 지능을 넘어서고 있기 때문에 CPS와 같은 새로운 개념이 필요하게 된 것이다. 또한, 복합시스템을 구성하는 개별적 컴포넌트의 물리적 속성과 전산적 속성

을 상호 연동시키는 것이 새로운 이슈로서 CPS이다<sup>[2]</sup>.

CPS는 전통적인 임베디드 소프트웨어 개발 방법으로 다루기 어려운 이종 시스템들 간의 결합에 따른 복잡성, 불확실성, 불예측성 등을 추상화된 모델을 통해서 다룬다. 모델은 복잡한 시스템을 다루기는 쉽지만 이에 대한 검증을 반드시 수행해야한다. 소프트웨어 테스트 기술을 사용하여 검증할 수도 있지만 테스트는 비용, 시간, 안정성 등의 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어 오토파일럿 시스템의 소프트웨어를 테스트하기 위해서 실제 항공기를 비행시키거나 미사일을 실제 발사하는 실험을 하는 것은 매우 위험하고 비용과 시간이 많이 소모된다. 그러므로 CPS 모델은 시뮬레이션 기술을 사용하여 소프트웨어를 검증하는 방법을 선호한다<sup>[3]</sup>.

\*본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(10035708, 고신뢰 자율제어 SW를 위한 CPS (Cyber-Physical Systems) 핵심 기술 개발]과 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

CPS에서의 시뮬레이션은 다양한 시스템들이 복합적으로 표현되어야 한다. 기존에 임베디드 시스템은 하나의 시스템만 시뮬레이션 하면 되지만 CPS에서의 시뮬레이션은 여러 가지 임베디드 시스템이 복합적으로 동시에 시뮬레이션 되어야 한다. 그러므로 여러 가지 환경에 대한 데이터를 표현 가능한 합성 환경이 요구된다. SEDRIS(Sharing Environmental Data Responsibly with an Interface Specification)<sup>[4]</sup>는 이러한 CPS 시뮬레이션 환경 데이터를 표현 가능하게 해준다. 또한 SEDRIS는 환경데이터의 재사용과 상호운용을 보장하기 때문에 다양한 시스템들이 결합되는 CPS 환경에 적합하다. CPS 시뮬레이션 환경에 SEDRIS를 적용하면 특정 도메인 환경에서 개발되던 환경데이터들을 재사용 및 상호운영 가능해 지고 많은 비용과 시간을 절감할 수 있는 효과가 있다.

본 논문에서는 CPS 시뮬레이션에서 사용되는 지형 데이터를 SEDRIS로 표현하기 위해 필요한 DRM(Data Representation Model)에 대해서 소개하고자한다. DRM은 SEDRIS 컴포넌트 중에서 가장 기본이 되는 기술로 환경 데이터를 표현을 위한 문법과 구조적인 의미를 제공한다. 환경 데이터를 읽고/쓰기 위해서는 이 구조의 이해가 필요하다. 본 논문에서는 지형 데이터로 표현 가능한 레스터, 그리드, 벡터, 폴리곤 데이터들을 DRM을 사용하여 어떻게 표현해야하는지 알아본다. 그

리고 DRM기술을 이용하여 CPS 시뮬레이션에 지형 정보에 적용하기 위한 방법을 제안한다.

## 2. 관련연구

환경 데이터 생산자들은 기존에 존재하는 제품들에 맞도록 도메인 특화된 데이터를 제공한다. 이런 환경 데이터 구조물들은 특정한 도메인 경계를 넘어서면 호환되지 않고 재사용이나 상호운영이 어렵다. 그러므로 새로운 도메인 사용자는 플랫폼에 특성화된 환경데이터 집합을 사용하기 위해서 데이터와 어플리케이션을 새로 제작해야한다. 환경데이터 사용을 위한 제작, 수정, 조작의 작업은 자원에 집중적이고 되풀이되는 비용 소모가 높다. 그래서 많은 시스템과 응용프로그램은 많은 환경데이터 소스로부터 통합이 요구되고 그것은 다른 도메인 영역에서도 동작해야한다. SEDRIS는 환경데이터의 통합 표현과 상호운영에 비용이 효율적인 기술이다. 다른 도메인 영역에 호환되고 여러 제품의 형식을 극하여 반복적으로 사용되는 값비싼 비용을 제거한다. SEDRIS는 기존과 새로운 환경의 데이터를 모두 제공한다.

SEDRIS는 그림 1과 같이 DRM(Data Representation Model)<sup>[5]</sup>, SRM(Spatial Reference Model)<sup>[6]</sup>, EDCS(Environmental Data Coding Specification)<sup>[7]</sup>, STF

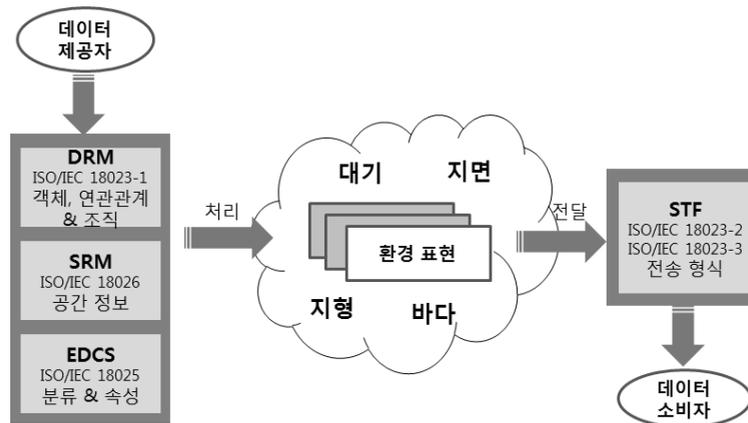


그림 1. SEDRIS 사용을 위한 개념도

(SEDRIS Transmittal Format)<sup>[8]</sup>, SEDRIS API(Application Program Interfaces)<sup>[9]</sup>의 5가지 기능을 제공한다.

DRM은 환경데이터를 표현을 위한 문법과 구조적인 의미를 제공한다. 이 문법과 구조는 UML의 클래스 다이어그램으로 표현되어 있다. 환경 데이터의 위치를 표현할 때는 SRM을 의지하고 환경 데이터의 의미를 잡을 때는 EDCS에 의존한다. 자연어로 비유한다면, DRM은 문법이고 EDCS는 단어 사전이다. 데이터의 의미는 문법과 사전에 의존한다. DRM은 클래스와 데이터 타입들의 집합으로 클래스들 사이의 형식적인 관계를 가진다. 그리고 DRM 클래스의 인스턴스들은 제약 또는 요구사항을 가지고 있다.

SRM은 위치 명세나 변환을 위한 통합적인 방법이다. SRM은 수많은 좌표계를 하나로 처리할 수 있도록 해준다. SRM은 하나의 객체 참조모델과 함께 추상 좌표계로 병합하여 공간 좌표계로 명세한다. SRM은 객체 참조 모델과 추상 좌표계로 구성되는데, 추상 좌표계는 다른 객체 참조 모델들과 함께 병합된다. 그것은 지구 좌표계가 지구 객체 참조 모델 WGS\_1984로 묶인 것이 같은 장소에서 지구 객체 참조 모델 EUROPEAN\_1950 또는 화성의 객체 참조 모델로 묶였을 때가 같지 않음을 의미한다. 추상 좌표계는 그 프레임의 원래 값을 존중하면서 유일하게 결정된 위치를 튜플 값으로 명세한다. 그 튜플 값은 참조 객체를 존중하면서 위치를 명세한다. 객체 참조 모델은 참조 객체의 기하학적인 모델을 그 프레임에 내포한다. 지구 참조 모델은 객체 참조 모델을 특별한 경우이다.

EDCS는 객체 의미를 위한 사전이다. 환경에 있는 어떤 것을 통합적인 방법으로 성격을 묘사한다. 어떤 객체를 묘사할 때 보는 관점이나 사고방식의 차이에 의해서 다르게 표현 될 수 있는데, EDCS는 이런 애매모호한 표현을 제거해준다. EDCS는 주어진 환경 개념의 표현하기 위해 최소한으로 정의, 레이블, 코드를 포함한다. 정의는 자연어, 속성, 범위, 개념의 기본적인 정보를 정확한 문장으로 표현한다. 레이블은 설계자가 사용가능한 문자열로 표현한 개념의 표시이다. 코드는

설계자가 알 필요 없는 숫자로 표현되는 개념의 표시이다.

STF는 플랫폼에 독립적이고 전송가능하며 지속가능한 파일 형식이다. 이 STF 데이터는 DRM으로부터 직접 다루어지고 기계 아키텍처와 단어 순서에 독립적인 바이너리 형태로 저장된다. STF는 여러 개의 파일들로 저장될 수 있지만 하나의 파일에는 한 개의 'root'만 존재한다. STF 데이터에는 모든 환경데이터를 하나 또는 여러 개의 파일들로 구성시킬 수 있다.

SEDRIS API는 표준적인 인터페이스와 구현을 제공한다. 이 API는 SRM, EDCS, DRM을 다룰 수 있으며 STF 파일을 생성, 수정, 삭제 등을 수행할 수 있도록 한다. SEDRIS는 표준 명세뿐만 아니라 SDK(Software Development Kit) 및 API 제공하여 환경데이터 구축 시 발생할 수 있는 호환 문제를 완전히 해결해 준다.

### 3. 지형표현을 위한 DRM(Data Representation Model)

SEDRIS를 통한 환경 구축을 위해서 필요한 작업은 DRM을 이해하는 것이다. 환경 데이터를 읽고 쓰는 API를 이용하면 데이터를 쉽게 저장할 수 있지만, 사용되는 데이터의 의미를 이해하지 못하면 응용프로그램에 적용하기 어렵기 때문이다. 본 장에서는 지형을 표현하기 위해서 사용되는 DRM의 주요 클래스에 대해서 설명하고자 한다. DRM에서 지형을 표현하기 위해 제공되는 형태는 레스터, 그리드, 벡터, 폴리곤이다<sup>[10]</sup>. 이것들에 대해서 각각 살펴본다.

#### 3.1 레스터 데이터

레스터 데이터는 픽셀과 같이 규칙적인 형태의 다차원 배열 값으로 이루어진 데이터이다. 레스터 데이터에는 특정지역과 관련된 이미지, 스캐닝된 지도, 기타 사진 또는 이미지로 구성된다. 레스터 데이터 형태로는 RPF(NGA's Raster Product Form)의 CIB(Controlled

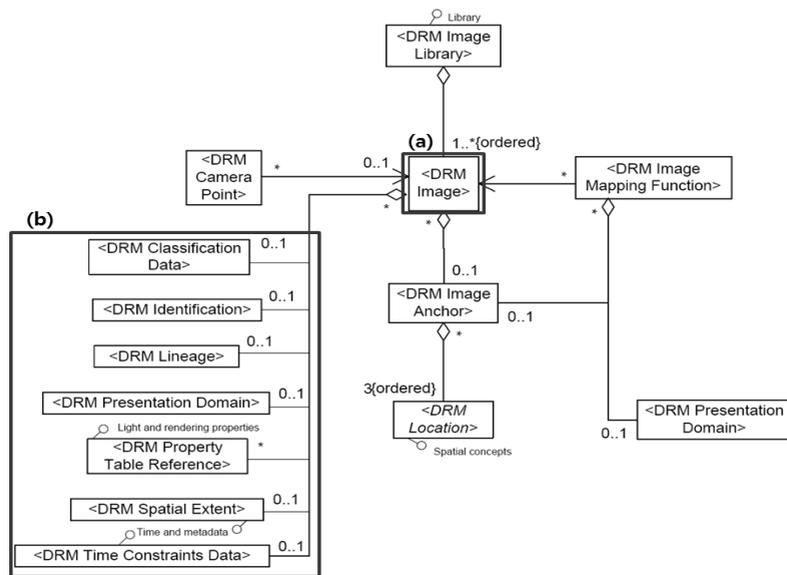


그림 2. DRM의 Image Library

Image Base), CADRG(Compressed ARC Digital Raster Graphics)가 있고 DRGs(USGS Digital Raster Graphics) 등이 있다. 레스터 데이터의 경우에는 <Image Library>에 저장되며 읽기/쓰기 API를 통해서 STF에 저장가능하다. 레스터 데이터의 저장은 그림 2에서 <Image Library> 하위에 <Image>로 저장되고 레스터 데이터의 메타데이터는 그림 2(b)에 표현할 수 있다. 이 <Image> 클래스는 레스터 데이터를 표현할 때 이외에는 3D객체의 텍스처를 표현할 때도 사용된다. <Image Mapping Function>은 3D 객체 표면에 2D 이미지를 적용시킬 수 있도록 해당 정보가 들어있다.

### 3.2 그리드 데이터

그리드 데이터는 테이블처럼 격자형태의 무늬를 가지는 데이터 형태로 2D나 3D 지형표현에 많이 사용되는 방법이다. 그리드 데이터의 포맷으로는 DTED(NGA's Digital Terrain Elevation Data), DBDB(NGA's Digital Bathymetric Data Base), DEMs(USGS Digital Elevation Models) 등이 있다. SEDRIS에서 그리드 데이터를 표현하기 위해서 Hook Point와 위도, 경도를 사용한다. Hook Point는 그림 3과 같이 선과 선이 만나는 교차지점을 나타내고 이 점을 중심으로 위도와 경도 간격을 이용하여 데이터를 표현한다.

사용하는 클래스는 그림 4와같이 <Property Grid

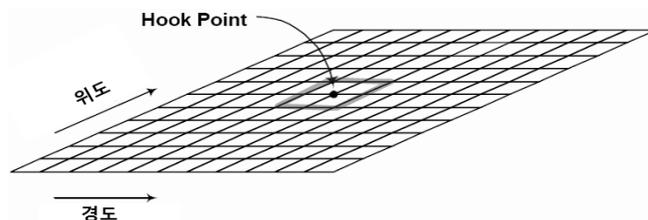


그림 3. DRM의 그리드 데이터 표현

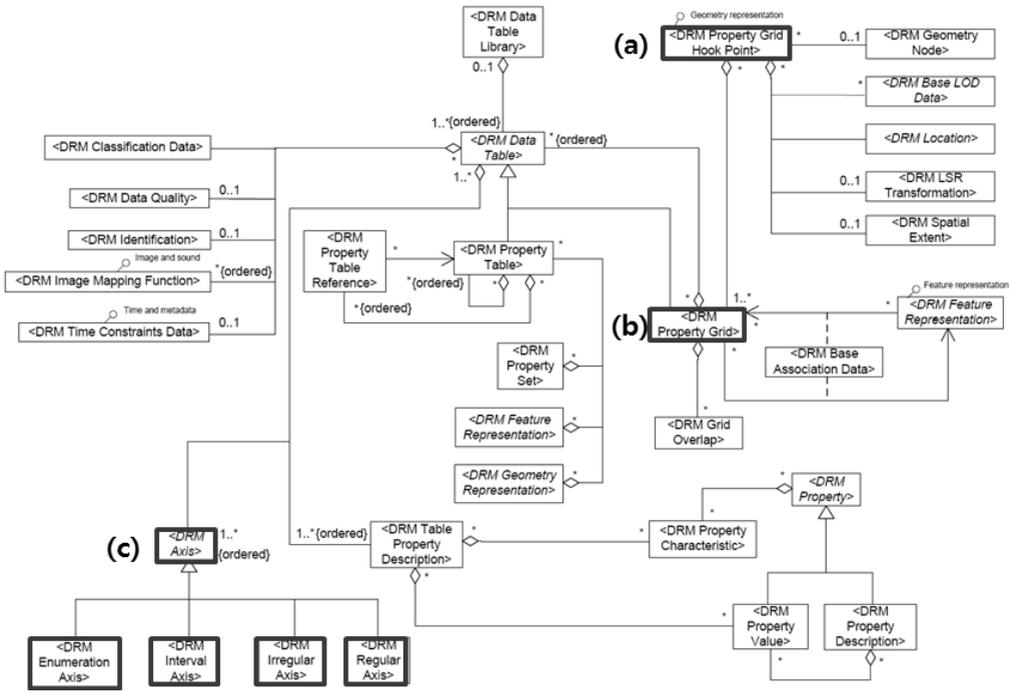


그림 4. DRM의 Property Grid Hook Point

Hook Point), <Property Grid>, <Axis>이 사용된다. <Property Grid Hook Point>는 사선이 교차하는 지점으로 점으로 표현된다. 이 클래스를 중심으로 그리드의 가로 세로 간격은 <Property Grid>에서 <Axis>로 표현한다.

이러한 정보를 실제로 데이터를 가지고 표현하면 그림 5와 같다. 그림에서 <Spatial Index Data>에 가로와 세로의 인덱스 정보가 들어 있다. 그 아래로 <Property Grid Hook Point>가 오는데 예제에서는 경도가 -85, 위도가 30으로 표현되어 있다. 이점을 중심으로

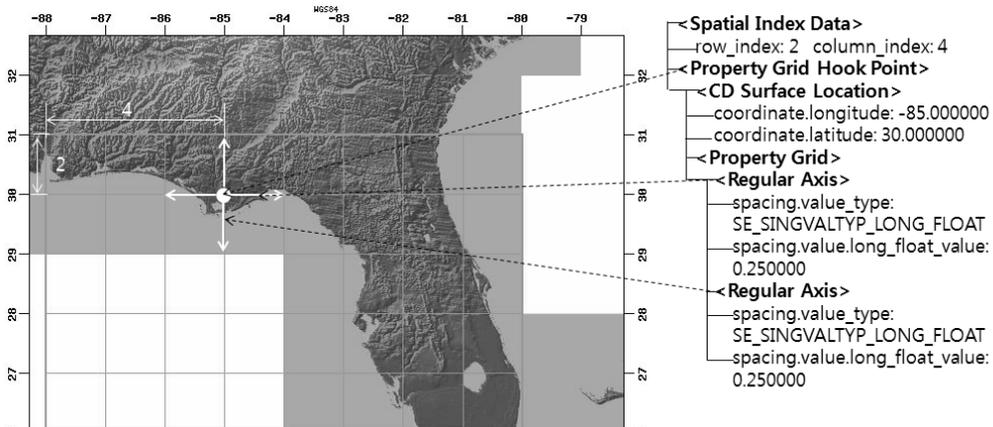


그림 5. 그리드 데이터 표현의 예

〈Property Grid〉에 〈Regular Axis〉를 보면 셀 간격이 0.25로 표현된 것을 확인할 수 있다. 〈Property Grid〉의 이 값은 SRM과 연계되어 실제 데이터 값을 표현한다. 이렇게 각 셀들은 Hook Point를 중심으로 한 개씩 표현된다. 예를 들어 2×2 셀을 가지는 그리드가 있다고 가정하면 Hook Point는 9개가 필요하고 Hook Point를 중심으로 〈Property Grid〉가 각각 표현된다. 〈Property Grid〉에는 〈Regular Axis〉가 2개 올 수 있는데 첫 번째 축이 경도이고 두 번째 축이 위도를 나타낸다.

### 3.3 벡터 데이터

벡터 데이터는 포인트, 선, 지역과 같이 추상화된 Feature들의 집합을 말한다. 이 Feature들은 고지대,

운곽선, 길, 철길, 배수구, 빌딩, 공장 등을 표현할 수 있다. 벡터 데이터의 포맷으로는 VPF(NGA's Vector Format), DLGs(USGS Digital Line Graphs) 등이 있다. SEDRIS에서 제공하는 Feature의 종류를 살펴보면 그림 6과 같이 Node, Edge, Face, Volume 4종류가 있다. Feature Node는 하나의 점을 표현한다. Feature Edge는 Feature Node가 2개 이상 모여서 선을 만든다. Feature Face는 Feature Edge들이 여러 개 모여서 면을 만든다. 여기서 Feature Node의 시작점과 끝점이 같아야 하는데, 이렇게 닫힌 선을 Feature Face Ring으로 표현한다. Feature Volume은 Feature Face가 여러 개 모여서 만들어지는 형을 말한다.

Feature Topology를 위해서 사용하는 클래스는 그림 7과 같이 〈Feature Node〉, 〈Feature Edge〉, 〈Feature Face〉, 〈Feature Volume〉 4종류이다. 각 클래스들은

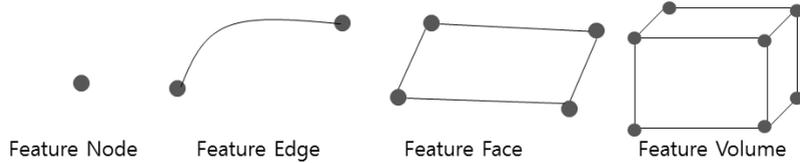


그림 6. Feature의 종류

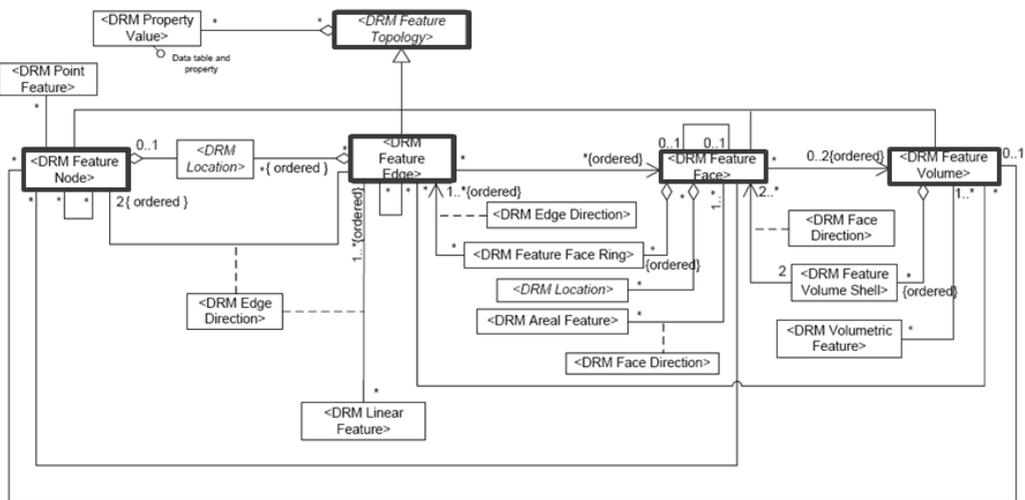


그림 7. DRM의 Feature Topology

앞에서 설명한 것과 같이 Node < Edge < Face < Volume 순으로 계층 구조를 가진다.

### 3.4 폴리곤 데이터

폴리곤 데이터는 점, 선, 폴리곤 등과 같이 원시적인 기하학원소들의 집합으로 구성되어있다. 폴리곤은 지형의 면을 표현가능하고 벡터 데이터와 같이 Feature Topology를 사용하여 지형의 면과 통합 가능하다. 폴리곤 데이터를 표현을 위해서 사용되는 클래스는 <Point>, <Line>, <Arc>, <Polygon>, <Polyhedron> 들을 사용 가능하다. <Point>는 하나의 점을 표현, <Line>은 선을 표현, <Arc>는 호를 표현, <Polygon>은 다각형을 표현, <Polyhedron>은 다면체를 표현한다.

폴리곤을 사용하여 다각형을 표현하면 그림 9와 같이 표현할 수 있다. 8각형의 폴리곤을 만들기 위해서는

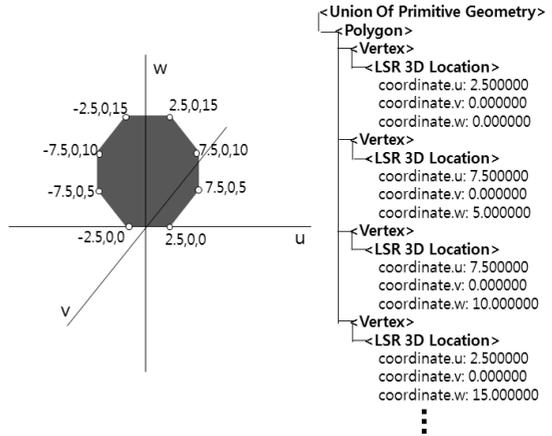


그림 9. 폴리곤 데이터 표현의 예

<Polygon>하위에 <Vertex>가 8개 있어야 한다. 각 좌표는 3D 좌표계로 표현되며 각 면에는 색상정보도 표현 할 수 있다.

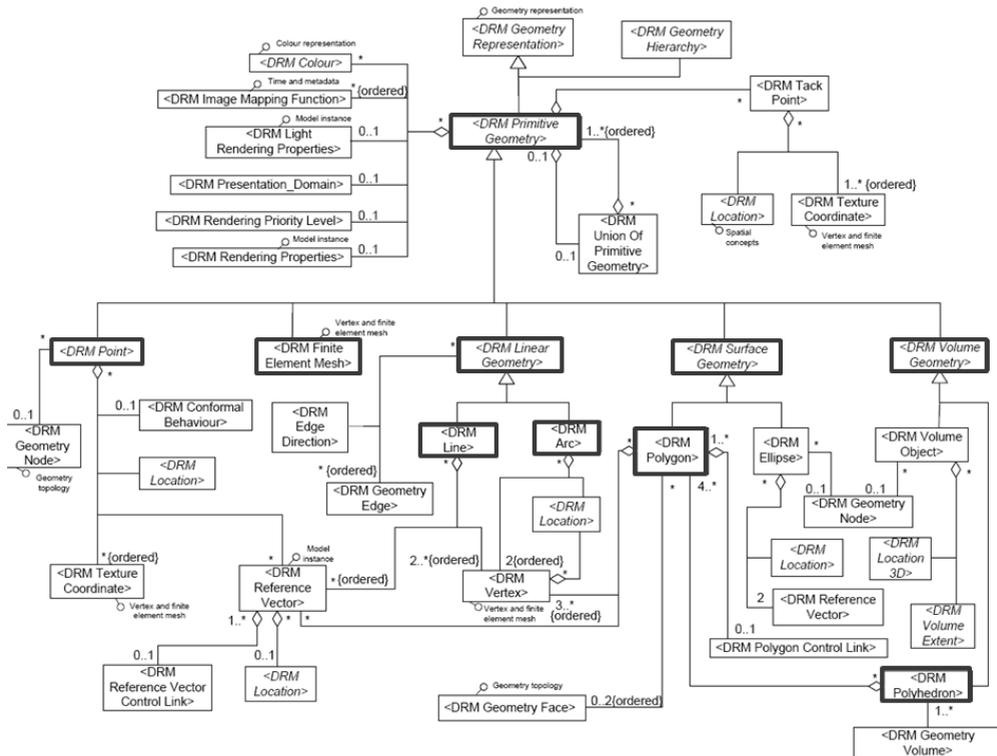


그림 8. DRM의 Primitive Geometry

### 3.5 CPS 시뮬레이션 환경에 적용하기 위한 방안

CPS 시뮬레이션 환경에 적용하기 위해서는 두 가지 방법을 선택할 수 있다. 보통 3D에서 사용되는 지형을 렌더링하기 위해서 사용되는 높이 맵을 이용한 방법과 SEDRIS에 폴리곤 정보를 직접 저장하는 방법 두 가지이다. 첫 번째 방법은 높이 맵을 레스터 정보로 저장하고 시뮬레이터에서 높이 맵을 읽어서 렌더링 하는 방법이다. 매우 간단하게 처리 가능하지만 다른 환경정보와 연계하기 위해서는 시뮬레이터에서 수작업으로 매핑 해야 하는 문제를 가지고 있다. 두 번째 방법은 폴리곤 정보를 직접 저장하는 방식이다. 이 방법의 장점은 폴리곤에 Feature 정보를 부과할 수 있기 때문에 호수나 늪 같은 지역의 특성 정보를 바로 연결가능하다. 그러나 특별한 도구 없이 환경데이터를 구축하기 어려운 문제가 있다. CPS 시뮬레이션 환경에 지형정보를 표현하기 위해서 폴리곤을 사용하여 표현해야한다.

## 4. 결론

CPS에서의 시뮬레이션은 다양한 시스템들이 복합적으로 표현되어야 하기 때문에 여러 가지 임베디드 시스템이 복합적으로 동시에 시뮬레이션 가능해야한다. 그렇기 때문에 여러 가지 환경에 대한 데이터를 표현 가능한 합성 환경인 SEDRIS가 필요하다. SEDRIS는 환경데이터의 재사용과 상호운영을 보장하기 때문에 다양한 시스템들이 결합되는 CPS 환경에 적합하고 많은 비용과 시간을 절감할 수 있는 효과가 있다.

본 논문에서는 SEDRIS를 CPS 시뮬레이션에 적용하기 위해서 필요한 DRM(Data Representation Model)에 대해서 소개하였다. 지형 데이터로 사용되는 레스터, 그리드, 벡터, 폴리곤들을 DRM을 사용하여 각각

설명하였다. 레스터는 이미지형태로 되어있는 지형정보를 저장하기 위해 사용한다. 그리드는 격자형태의 지형정보를 효과적으로 저장할 수 있도록 한다. 벡터는 각 지형정보를 Feature를 사용하여 표현하는 방법이다. 이를 위해서 Node, Edge, Face, Volume을 사용한다. 폴리곤은 다각형을 표현 가능한 방법으로 가장 유연하게 사용될 수 있는 방법이다. 그리고 CPS 시뮬레이션에 지형 정보를 표현하기 위해서는 폴리곤을 사용한 방법을 제안하였다. 현재 단계에서는 폴리곤들을 이용하여 단순한 지형 정보만 표현 가능하다. 향후 연구로 대기 정보와 다른 많은 환경 정보를 표현하고자 연구 중에 있다.

## 참고문헌

- [1] Edward A. Lee, "Cyber Physical Systems: Design Challenges," 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing(ISORC), pp. 363- 369, 2008.
- [2] 김원태, 박승민, "고신뢰성 지원 사이버-물리 시스템 기술 동향", 한국정보기술학회지, 제8권 제1호, pp. 25-32, 2010.12.
- [3] 이해영, 전인걸, 김원태, 박승민, "사이버-물리 시스템의 소프트웨어 신뢰성 지원을 위한 모델링 및 시뮬레이션 기술 연구 동향", 정보통신산업진흥원, 주간기술동향 통권 1459호, pp. 1-13, 2010.8.18.
- [4] Farid Mamaghani, "An Introduction to SEDRIS", [http:// www.sedris.org](http://www.sedris.org), 2008.12.
- [5] ISO/IEC 18023-1:2006(E), "SEDRIS - Part 1: Functional specification", <http://www.sedris.org>
- [6] ISO/IEC 18026:2009(E), "Spatial Reference Model (SRM)", <http://www.sedris.org>
- [7] ISO/IEC 18025:2005(E), "Environmental Data Coding Specification(EDCS)", <http://www.sedris.org>
- [8] ISO/IEC 18023-3, "SEDRIS - Part 3: Transmittal format binary encoding", <http://www.sedris.org>
- [9] FL Lake Buena Vista, "Fundamentals for Accessing Transmittals", <http://www.sedris.org>, 2004.01.06.