

# VLSI /CAD 소프트웨어의 데이터 관리를 위한 계층적 인터페이스 시스템

안성욱  
배재대학교 전자계산학과

## Hierarchy Interface System for a Data Management of VLSI/CAD Software

Sung-Ohk Ahn  
*Dept. of Computer Science, Pai Chai University*

기존의 상업용 데이터베이스 시스템들은 복잡한 오브젝트 들의 계층 구조에 의존하며 방대한 양의 데이터를 반복적으로 접근하는 CAD 데이터의 특성을 효과적으로 지원하지 못하여 CAD 데이터베이스의 중요성과 이의 효율적인 관리를 위한 연구의 필요성이 대두되었다. 본 논문에서는 CAD 데이터의 효율적인 관리와 설계 도구들의 통합을 위한 좋은 환경을 제공하기 위하여, 계층적 인터페이스 시스템을 설계하고 이의 구현을 위해 CAD 데이터베이스의 특성을 고려한 GROCO 모델을 제시하고자 한다. 배치기와 변환기의 두개의 서브시스템으로 구성된 계층적 인터페이스 시스템은 CAD 데이터의 효율적인 관리를 위한 빠른 실용화를 위해 기존의 상업용 데이터베이스 관리 시스템과 CAD 도구들을 인터페이스 시키는 시스템으로 개발되어 실제 CAD 도구들에 적용하고자 한다. GROCO 모델은 데이터의 의미들을 나타내기 위한 5개의 노드 타입들이 연결되어 방향 주기 그래프를 구성하고 있다. 이 모델은 이질적인 데이터들의 다양한 형태의 모입으로 구성된 복잡한 오브젝트들의 계층구조에 의해 이루어진 CAD 데이터의 특성을 효과적으로 지원하고자 한다.

The conventional database management system is not applicable because of their inadequate performance and difficulty of CAD database that is dependant to hierarchical structure and to repeat accesses of large data. For a effective management and easy tool integration of CAD database, Hierarchy Interface System(HIS) is designed and GROCO(Graph Representation fOr Complex Objects) Model is presented. Hierarchy Interface System which is composed of two subsystems of a configurator and a converter is designed for the interface between a conventional database management system and CAD tools. GROCO Model is a directed cyclic graph having five node-types for representing semantics and supports efficiently CAD database characters having a hierarchical structure of complex objects.

**Key words** : CAD database, Hierarchy Interface System, GROCO Model, CAD tools

### I. 서론

반도체 기술의 발전으로 VLSI 칩의 집적도가 매우 높아지게 됨에 따라 VLSI 시스템의 효율적인 설계 및 높은 생산성을 위하여 VLSI/CAD 기

술의 활용이 점점 증가하고 있는 추세이다. 앞으로 VLSI 설계 기술과 이를 뒷받침하기 위한 CAD 기술은 세계 시장에서 국내의 반도체와 시스템 산업의 경쟁력을 높이기 위한 고부가가치화와 경제성 재고를 위해 서둘러 발전시켜야 할 분

아이다.

VLSI 설계 회로 과정은 점점 더 복잡해지고 다양하게 포함되어 있는 매우 많은 양의 데이터 조작을 포함한다. 이러한 복잡도(complexity)의 증가는 필연적으로 좋은 CAD 소프트웨어를 필요로 한다. 현재의 유용한 CAD 설계 도구들은 일반적으로 화일 시스템에 의하여 설계 데이터를 저장해 왔다. 그러나 이 방법은 동적 변화 화일 구조(dynamically changeable file structure), 데이터 접근 메카니즘의 다양성 및 안전하고 동시적 접근을 위한 조정 메카니즘등을 제공하지 못하여,<sup>1)</sup> 이러한 설계 화일의 단점을 해결하기 위해서는 설계 데이터를 데이터베이스 형태로 저장하는 것이 바람직하다.

기존의 상업용 데이터베이스 시스템들은, 복잡한 오브젝트(complex object)들의 계층 구조에 의존하며 또한 방대한 양의 데이터를 반복적으로 접근하는 등의 CAD 데이터의 특성을 효과적으로 지원하지 못하여 CAD 데이터베이스의 중요성이 주장되고 이의 효율적인 관리를 위한 많은 연구와 다양한 제안들이 있어 왔다.

본 논문에서는 CAD 데이터의 효율적인 관리와 설계 도구들의 통합을 위한 좋은 환경을 제공하기 위하여, 계층적 인터페이스 시스템(Hierarchy Interface System : HIS)을 설계하고 이의 구현을 위해 CAD 데이터베이스의 특성을 고려한 GROCO 모델을 제시하고자 한다. 실제 CAD 도구들에 적용하여 회로의 복잡도의 처리와 높은 생산성에 도움을 주고자 하는 계층적 인터페이스 시스템은 CAD 데이터의 효율적인 관리를 위한 빠른 실용화를 위해 기존의 상업용 데이터베이스 관리 시스템과 CAD 도구들을 인터페이스시키는 시스템으로 개발되어 실제 CAD 도구들에 적용하고자 한다.

그러나 이러한 계층적 인터페이스 시스템은 단계적인 실용화와 확장을 계속하여 궁극적으로는 독자적인 CAD 데이터베이스 관리 시스템으로 발전하기 위한 최종 목적을 염두에 두고 시스템의 확장성과 이식성을 고려하여 개발하겠다.

## II. 연구의 배경

CAD 데이터베이스의 효율적인 관리에 관한 국내외 기존 연구에 의해 개발된 시스템과 제안에 대하여 간략히 서술함으로써 본 논문의 연구

배경으로 제시하고자 한다.

Stonebraker와 Rowe는 POSTGRES라 불리는 새로운 데이터베이스 관리 시스템을 설계했다.<sup>2)</sup> 이 시스템은 확정적 타입 시스템, 새로운 연산자들, 새로운 접근 방법들에 의해 복잡한 오브젝트들을 지원한다.

Chen과 Parng<sup>3)</sup>은 객체 지향 데이터베이스 시스템 방법의 접근에 의해 DDMS라는 시스템을 구현하여 CAD 도구들의 일(task)을 단순화시키고 구현 작업의 일의 양(efforts)을 감소 시켰다.

오브젝트 중심 개념을 결합한 데이터베이스 프로그래밍 시스템<sup>4,5)</sup>을 이용한 CAD 프레임 워크(frame work)에 관한 연구로는 EDA 시스템사의 EDMS(Electronic Design Management System), DOD의 ESI(Engineering Information System)와 버클리 대학의 OCT등이 있다.<sup>6,7,8)</sup>

국내의 연구 수준은 아직은 초기 단계에 있으며, 프로토타입의 시스템 개발등 몇 가지 연구가 아래와 같이 수행되었다.

ETRI에서 개발한 CAD 데이터베이스 관리 시스템인 EDOMS는 복잡한 오브젝트 데이터 모델을 지원하며 버전 관리와 설계 구성(configuration) 관리 기능을 갖추고 있다.<sup>9)</sup>

CAD 프레임워크의 구현에 관한 연구가 홍봉희 교수에 의해<sup>10)</sup> 트랜잭션 모델에 관한 연구가 [11]에서 이루어졌다. 또한 음두헌 교수에 의해<sup>12)</sup> CAD 소프트웨어를 위한 구조적 뷰 생성기가 구현되었다.

그러나 이의 연구들은 아직까지는 실험적 연구들로 실제 VLSI/CAD 설계 도구들에 적용되어 VLSI 설계의 복잡도의 처리와 설계 도구들의 통합(integration)을 위해 실용화되기까지는 많은 후속 연구가 진행되어야 한다.

이에 본 논문에서는 CAD 데이터의 효율적인 관리와 설계 도구들의 통합(integration)을 위한 좋은 환경을 제공하기 위하여, 변환기(converter)와 배치기(configurator)의 2개의 서브시스템으로 구성된 계층적 인터페이스 시스템(Hierarchy Interface System : 이하 HIS라 칭함)을 설계하고 이의 구현을 위해 CAD 데이터베이스의 특성을 고려한 GORCO 모델을 제시하고자 한다.

## III. 계층적 인터페이스 시스템

CAD 데이터베이스를 효율적으로 관리하기 위

하여, 새로운 시멘틱 또는 오브젝트 중심 개념을 도입한 모델링 방법에 의한 프로토타입의 독자적인 데이터베이스 관리 시스템을 구현하거나 기존의 상업용 데이터베이스 관리 시스템에 새로운 기능을 추가하여 확장하거나 또한 CAD 프레임워크(framework)의 개념이 도입되어 CAD 프레임워크의 구현을 위한 오브젝트 중심 데이터베이스 프로그래밍 접근 방법 등이 연구되어 왔다.

그러나 통계 데이터베이스<sup>13)</sup>에서의 경우와 마찬가지로 현실적으로 CAD 프레임워크(framework)나 독자적 CAD 전용 데이터 관리 시스템이 상업용으로 개발되어 실제 VLSI/CAD 소프트웨어를 위해 사용되는 일은 표준화된 정의와 시스템의 성능과 개발 비용 등의 난제 때문에 빠른 시일 내에 이루어지기가 그리 용이한 일은 아니다.

본 논문에서는 기존의 상업용 데이터베이스 관리 시스템의 기능들을 이용하면서 CAD 데이터베이스 관리를 효율적으로 관리하기 위해서 관계 모델을 베이스 모델로 하여 그것의 단점을 보강하여 CAD 도구들이 필요로 하는 데이터 관리 기능들을 제공하기 위한 계층적 인터페이스 시스템(Hierarchy Interface System : HIS )을 설계하고자 한다.

접근 경로들의 선택에 있어서 융통성(flexibility)이 크게 제공되고 데이터 베이스 뷰의 다중 표현(multiple representation)의 지원 등의 장점 때문에 관계 모델을 베이스 모델로 하여 CAD 데이터를 효율적으로 관리하기 위하여 개발할 계층적 인터페이스 시스템(Hierarchy Interface System)의 구조는 다음 Fig. 1에 제시된 바와 같이 배치기와(configurator)와 변환기(converter)의 두개의 서브시스템으로 구성되어 있다.

효율적인 CAD 데이터베이스 관리를 위한 계층적 인터페이스 시스템(Hierarchy Interface System)의 특성은 아래와 같다.

(1) 변환기(converter)에서는 관계 데이터 모델을 확장하여, 의미적으로 연관성이 있으나 상이한 타입의 레코드의 모임으로 구성되는 복잡한 오브젝트(complex object)들의 계층구조를 지원한다. 그리하여 한 셀이 변경되면 그것과 관련된 어떤 셀들이 변경되어야 하는가에 관하여 효과적으로 응답 할 수 있도록 한다.

(2) 배치기(configurator)에서는 각 CAD 소프트웨어들이 적절한 각기 다른 내부 자료 구조를 가질 수 있기 위하여 다양한 뷰(multiple view)들

을 생성한다.

(3) 이 다양한 뷰(multiple view)들을 효율적으로 지원하기 위하여 통계 데이터베이스를 위한 모델인 GROS 모델(Graph Representation for Semantics Model)<sup>13)</sup>을 확장하여 발전시킨 CAD 데이터베이스의 특성에 적절한 모델인 GROCO (Graph Representation for Complex Objects) 모델을 제시하여 CAD 데이터의 의미(semantics)들을 적절하게 나타낸다.

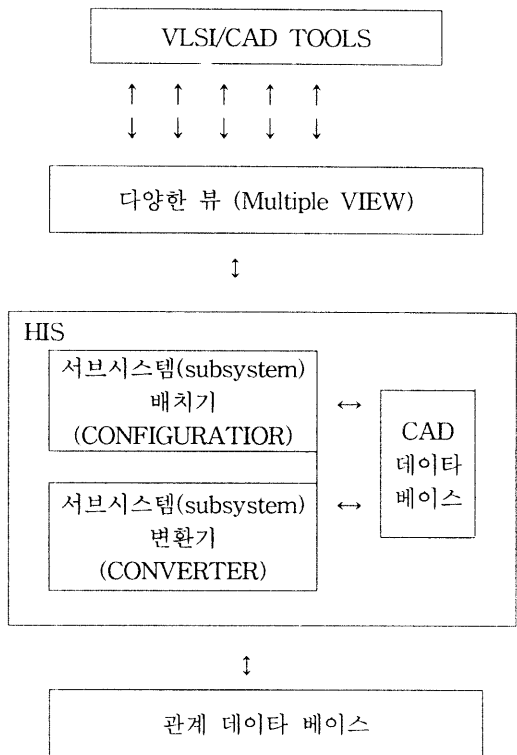


Fig. 1 The Architecture of Hierarchy Interface System

(4) CAD 응용프로그램이 구조화된 다양한 뷰에서 데이터 필드들을 갱신하는 것이 허락된다면 이 갱신들을 뷰에서 데이터베이스까지 전파할 뷰 갱신 메카니즘(view update mechanism)이 요구된다. 자동 에그리게이션(automatic aggregation)이 용이한 GROCO 모델의 특성을 이용하여 각 CAD 도구들이 뷰(view)에서 타당한 갱신이 이루어졌을 때 이 갱신이 데이터베이스로 자동 전파(propagation)되어 계층적으로 관련된 다른 도

구들 때까지 전파되기 위한 갱신 전파 기능과 버전(version)관리 기능을 제공하고자 한다.

### IV. GROCO 모델

HIS의 서브시스템인 배치기(configurator)와 변환기(converter)의 좋은 성능(performance)과 용이성(facility)을 위해 CAD 데이터베이스의 특성을 고려한 GROCO(Graph Representation fOr Complex Objects)모델을 제안해 보겠다. GROCO 모델은 이질적인(heterogeneous) 데이터들의 다양한 형태의 모임으로 구성된 복잡한 오브젝트(complex object)들의 계층 구조에 의존하며 또한 방대한 양의 데이터를 반복적으로 접근하는 CAD 데이터의 특성을 효과적으로 지원하고자 한다.

이 모델은 CAD 데이터의 다양한 뷰(multiple view)를 효과적으로 지원하기 위하여, 통계 데이터베이스를 위한 모델인 GROS 모델(Graph Representation fOr Semantics Model)<sup>12)</sup>의 확장과 발전에 의해 제시되었다. GROCO 모델은 사용자에게 그들의 의미(semantics)들을 나타내기 위한 5개의 노드들의 타입으로 나타낸다.

각 노드들은 마크(mark)되었고 각 노드들의 특성을 구별하기 위해 레벨(level) 되었으며, 이 노드들은 연결되어 방향 주기 그래프(directed cyclic graph)를 구성하고 있으며 edge들은 화살표에 의해 방향을 나타내고 있다. 이러한 5개의 노드 타입들의 시멘틱 묘사를 하면 다음과 같다.

#### 1. T-노드(Terminal Node)

추상화의 가장 낮은 수준(level)의 노드로서 Fig. 4에서 보는 flip-flop, xor, nand와 같은 잎노드(leaf node)로 나머지 다른 노드들과 구별하기 위해 삼각형(△)으로 마크한다.

#### 2. C-노드(Category Collection Node)

C-노드로 표현된 범주수집 노드들은 데이터 공간의 주어진 차원에서 원소의 갯수가 너무 많을때 그것을 다 수준으로 표기하여 한번에 원소의 작은부분 만을 처리하려는 속성을 표기하는 것이다. 질의를 위한 C-노드의 의미는 에그리게이션 질의에 포함된 선택된 가지들만 에그리게이션되고 선택되지 않은 가지들은 에그리게이션 되

지 않는다. 한편 C-노드 그 자체의 선택은 모든 가지들을 에그리게이션 한다.

C-노드들은 T-노드들의 수집(collection)을 위해 사용되며 C-노드들의 다 수준은 같은 특성을 표기하지만 아래의 I-노드로 표기한다. Fig. 2에서 보듯이 C-노드는 각 터미널 노드들이 T<sub>i</sub>의 유니온(union)의 형태인 C = T<sub>1</sub> U T<sub>2</sub> U ..... U T<sub>k</sub> 로 표시되며 cardinality는

$$CAR(C) = \sum_{i=1}^k CAR(T_i)이다.$$

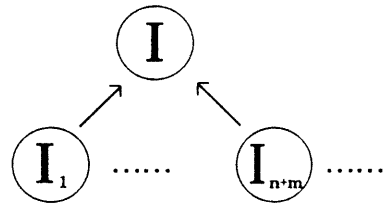
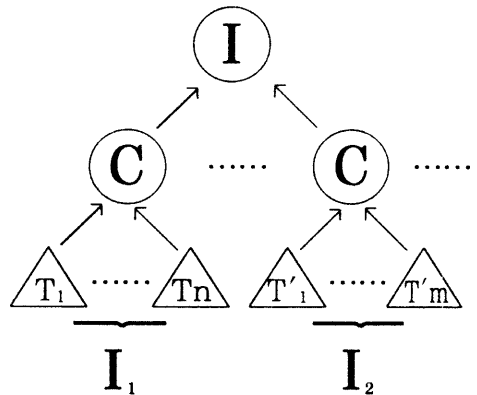


Fig. 2 Representation of Category Collection Node and Cartegory Induction Node

#### 3. I-노드(Cartegory Induction Node)

C-노드와 같은 속성을 표시하는 것으로 T-노드들이 아닌 C-노드들의 다양한 수준에서의 추상화(abstraction)를 나타낸다. Fig. 2에서 보듯이 I-노드는 각 터미널 노드들의 서브 세트들의 유니온(union)인 I = I<sub>1</sub> U I<sub>2</sub> U ..... U I<sub>k</sub>로 표기하며 Cardinality는

$$CAR(I) = \sum_{i=1}^k CAR(I_i)이다.$$

4. P-노드(Cartesian Product Node)

P-노드로 표기된 카테시안 프로덕트 노드는 CAD 데이터베이스의 복잡한 오브젝트(complex object)들의 계층구조에 의한 다차원 성질을 표기한 것이다.

P-노드는 또한 큰 P-노드의 복잡성을 감소시키기 위한 다계층을 표기하기도 한다. 예를들어 7원소의 P-노드가 3개의 원소와 4개의 원소를 가진 2개의 P-노드로 각각 표현한 뒤, 2개의 P-노드가 다시 상위수준의 P-노드에 의해 나타내어진다. 질의를 위한 P-노드의 시멘틱스는 C-노드와는 달리, 선택되지 않은 P-노드의 모든 가지들이 에그리게이션된다. 또한 P-노드 그 자체의 선택은 모든 가지들을 에그리게이션 한다. 결국 에그리게이션을 위해 선택된 P-노드 예들은 명백하게 선택된 값들과 선택되지 않은 가지들의 모든 값들과의 조합에 의하여 그 값을 형성한다. 이러한 P-노드들은 복잡한 오브젝트(complex object)들의 합성키(composition key)들을 표현하기 위해 사용된다. Fig. 3에서 보듯이 P-노드는 T-노드, C-노드, I-노드 또는 다른 P-노드들의 카테시안 프로덕트인

$P=P'_1 \times P'_2 \times \dots \times P'_k (P'_i \in (T, C, I, P\text{-노드}))$ 로 표시되며 cardinality는

$$CAR(P) = \prod_{i=1}^k CAR(P'_i) \text{이다.}$$

들에 의한 화일 또는, 이러한 화일들의 다수준에 의한 CAD 데이터베이스의 뷰를 표기한다. 다양한 뷰를 나타내는 그래프의 근 노드는 항상 V-노드로 표기된다.

이와 같은 5개의 노드타입들에 의하여 제시된 GROCO 모델에 의한 그래프를 운영하기 위한 규칙들은 다음과 같다.

- [규칙1] 최소 경로는  $V \rightarrow C \rightarrow T$  이다.
- [규칙2] V-노드는 그것의 가지로서 V-노드와 P-노드와 I-노드 또는 C-노드를 취한다.
- [규칙3] P-노드는 그것의 가지로서 P-노드와 I-노드 또는 C-노드를 취한다.
- [규칙4] I-노드는 그것의 가지로서 C-노드를 취한다.
- [규칙5] C-노드는 그것의 가지로서 T-노드를 취한다.
- [규칙6] 근 노드는 V-노드로 표기된다.

위와 같은 규칙을 가진 GROCO 모델에 의한 CAD 데이터베이스의 그래프 표현의 특징은 다음과 같다.

첫째, 노드들의 여러 타입과 그들의 시멘틱스를 주로 언급함으로써 명료하고 컴팩트(compact)한 뷰를 제공한다. GROCO 모델에서 m개의 범주속성들의 값을 알기위해

$$n = \sum_{i=1}^m \dim(C_i) \text{개의 터미널 노드가 필요하나 관계 모델에서는}$$

$$n' = \prod_{i=1}^m \dim(C_i) \text{개의 튜플들이 필요하다.}$$

둘째, 그래프의 구조가 시각적이고 의미묘사가 정확하다.

셋째, 사용자는 노드들의 타입을 알 필요없이 각 노드들의 의미규칙(semantic rule)들을 적용하여 속성들의 자동 에그리게이션을 제공한다.

네째, 이러한 자동 에그리게이션에 의하여 CAD 데이터베이스의 구성을 쉽고도 빠르게 할 수 있다.

다섯째, CAD 데이터베이스의 반복성의 문제를 해결 할 수 있다.

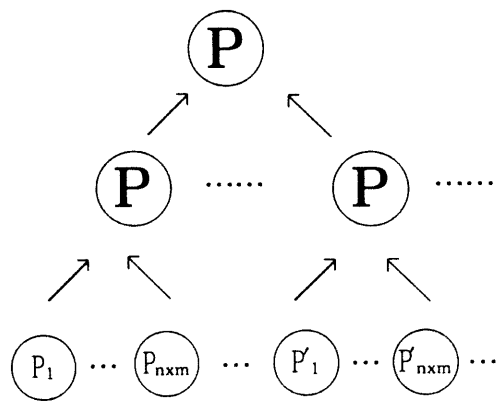


Fig. 3 Representation of Cartesian Product Node

5 V-노드 (Version Node)

V-노드로 표기된 버전 노드는 복잡한 오브젝트(Complex object)들의 다양한 뷰를 나타내는 것으로 단 하나의 V-노드 또는 여러개의 V-노드

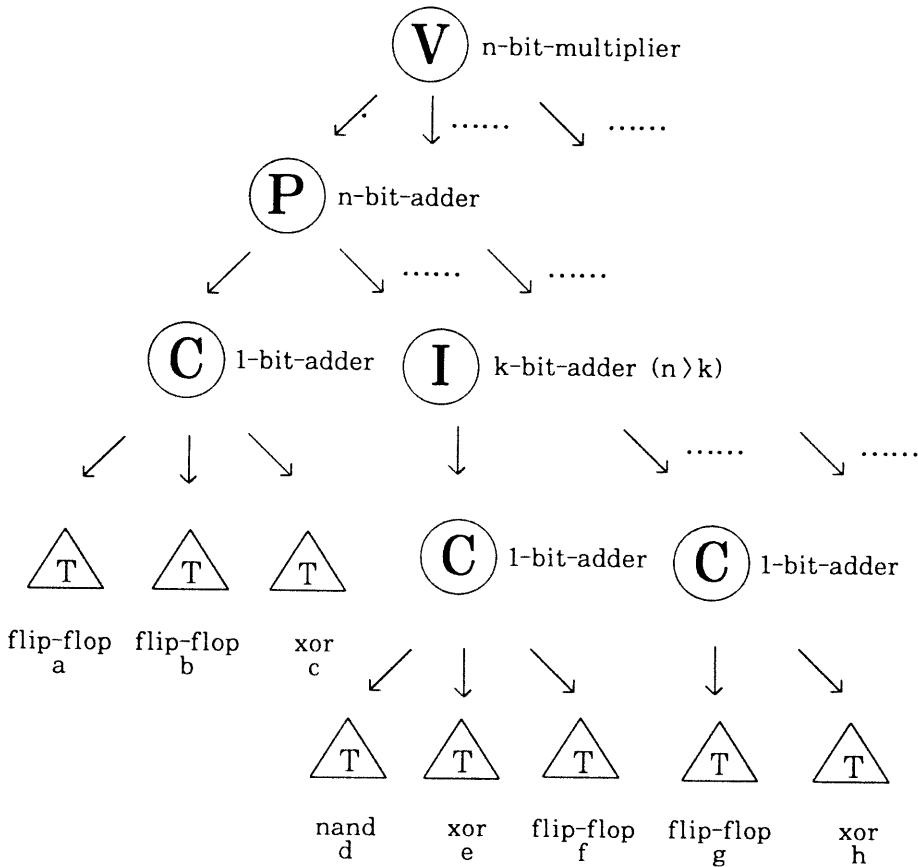


Fig. 4 Example of GROCO Model for some complex objects

### V.결론

본 논문에서는 복잡한 오브젝트(complex object)들의 계층구조에 의존하고 방대한 양의 데이터를 반복적으로 접근하는 CAD 데이터베이스의 특성을 효과적으로 지원하여 CAD 데이터의 효율적인 관리와 설계 도구들의 통합(integration)을 위한 좋은 환경을 제공하기 위하여, 변환기(converter)와 배치기(configurator)의 2개의 서브시스템으로 구성된 계층적 인터페이스 시스템(Hierarchy Interface System)을 설계하였다.

또한 HIS의 서브시스템인 배치기(configurator)와 변환기(converter)의 좋은 성능(performance)과 용이성(facility)을 위해 CAD 데이터베이스의 특성을 고려한 GROCO 모델을 제안하였다. GROCO 모델은 자동 에그리게이션에 의하여 CAD 데이터베이스의 구성을 쉽고도 빠르게 할 수 있다.

현실적으로 독자적 CAD 전용 데이터베이스 관리 시스템이 상업용으로 개발되어 실제 VLSI/CAD 소프트웨어를 위해 사용되는 일은 표준화된 정의와 시스템의 성능과 개발 비용등의 난제 때문에 빠른 시일내에 이루어지기가 그리 용이한 일이 아니다.

이에 본 논문에서는 CAD 데이터의 효율적인 관리를 위한 빠른 실용화를 위해 관계 모델을 베이스 모델로 한 기존의 상업용 데이터베이스 관리 시스템과 CAD 도구들을 인터페이스 시키는 시스템으로 HIS를 설계하였다.

향후 연구과제로는 계층적 인터페이스 시스템(HIS)이 단계적인 실용화와 확장을 계속하여 궁극적으로는 독자적인 CAD 전용 데이터베이스 관리 시스템으로 발전하기 위한 최종 목적을 염두에 두고 초기 단계에서부터 확장성과 이식성을 고려한 구현작업을 수행하고자 한다.

## 감사의 말씀

본 논문은 95년도 배재대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 연구의 일부로 이에 감사를 드립니다.

## 참고 문헌

1. Katz R.H, "Information Management for Engineering Design", Survey Computer Science, Springer-Verlag, Berlin, 1985.
2. Stonbraker M., and Rowe, L.A, "The design of POSTGRES.", Proc. ACM Conf. on Management of Data, May 1986, p304-355.
3. Chen, G.W., and Parng, T.M, "A data base management system for a ACM/IEEE Design Automation Conference, 1988, p257-262.
4. Andrew, T. and Harris, C, "Combining Language and Database Advances in an Object-Oriented Development Environment", ACM Proc. OOPSLA, Oct.1987, p430-440.
5. Leclus, C. and Richard, P., "The O<sub>2</sub> Database Programming Language", Proc. of the 15th IntL Conf. on VLDB, Amsterdam, Aug., 1989, p411-422.
6. Stout, T., "Integrating the Open Framework", Digest of Papers IEEE Spring COMPCON, March, 1989, p425-428.
7. Akins, R., "Tool Attachment in EIS, "Digest of Papers IEEE Spring COMPCON, March, 1989, p410-414.
8. Harrison, D.S, Moore, P., Spickelmier, R.L, "Data Management and Graphics Editing in the Berkeley Design Environment", Proc. ICCAD 86, CS Press, LOS Alamitos, Calif., p24-27.
9. 장덕호, 김준, 조은영, 광명신, 이철동, "EDOMS: CAD 데이터베이스 관리 시스템", 데이터베이스 연구회지, VAL6, NO1, 1990, p32-39.
10. 홍봉희, 장덕호, 광명신, 이철동 "VLSI/CAD 응용을 위한 데이터베이스 관리 시스템", 데이터베이스 연구회지, VAL6, NO1, 1990, p40-57.
11. 강현석, 한석우, 최숙영, 광명신, 이철동 "CAD 데이터베이스의 트랜잭션 관리에 대한 연구.", 데이터베이스 연구회지, VOL6, NO1, 1990, p73-90.
12. 음두헌, "VLSI/CAD 응용 프로그램을 위한 구조적 뷰 생성기", 정보 과학회 논문지, VOL19, NO3, MAY, 1992.
13. 안성옥. "통계 데이터베이스의 효율적 관리에 관한 연구 - SM시스템 설계 및 구현 고려 대학교, 박사 학위 논문, Aug., 1989.
14. H. C. Du and S.Ghanta, "A Frameworker for Efficient IC/VLSI CAD Database", IEEE 3DR IntL Conf. on Data Engineering, 1987, p619-625.
15. Gupta, R., et. al., "An Object-Oriented VLSI CAD Framework." IEEE Computer, May 1989, p28-37.
16. Harkwick, M., "Why rose is fast: Five optimizations in the design of experimental database system for CAD/CAM applications", Proc. ACM Conf. on Management of Data. Dec., 1987. p292-298.
17. Mary Jane Irwin, Ting Hwang, Robert M. Owens, "Efficiently Computing Communication Complexity for Multilevel Logic Synthesis.", IEEE Transactions on CAD, Vol 11-5, May 1992.
18. Ketabchi, M.A. and Berzing, V, "Mathematical model of composite object and its application for organizing engineering database", IEEE Trans. Software Eng. Vol 14-1, Jan, 1988, p 71-84.
19. Kim, W. and Banerjee, J., "Operation and implementation complex objects", IEEE Trans. Software Eng. 14-7, July, 1988, p985-996.
20. Alan R. Martello, "A VHDL Design Environment", Technical Report, Univ of Pittsburgh, 1990.
21. 안성옥. "통계 데이터베이스의 효율적 관리를 위한 요약 테이블의 설계 및 구현 고려 대학교 이과 대학 이학론집. VOL30, 1990,
22. 안성옥, 김용호, "통계 데이터베이스의 효율적 관리를 위한 RDBMS에의 전위시스템 설계", 배재대학교 자연과학 논문집. VOL5, NO2, 1992.
23. G. Krishamoorthy and J.A Nestor, "Data path allocation using an extended binding model" Proc of the 29th DAC, 1992.