

論文96-33A-5-23

IC 칩 분석용 CAD 시스템의 영상 데이터베이스 구축 (Image Database Construction for IC Chip Analysis CAD System)

李省奉*, 白瑛錫*, 朴仁學*

(Seong-Bong Lee, Young Seok Baek, and In Hag Park)

요 약

본 논문에서는 IC 칩 분석용 CAD 시스템의 영상 데이터베이스 구축을 위한 CAD 툴의 개발에 대해 기술한다. 고배율의 현미경 촬영에 의한 IC 칩 분석을 위해서는 수천 프레임이상의 컬러 영상을 관리하는 영상 데이터베이스가 필요하다. 실수하기 쉽고 시간이 많이 걸리는 수작업에 의한 데이터베이스 구축 과정의 문제점을 해결하기 위해, 칩 영상을 촬영하는 영상 촬영기, 촬영된 영상으로부터 전체 칩의 영상 데이터베이스를 구축하는 영상 편집기, 그리고 효율적인 영역 탐색을 위해 균일하게 겹쳐진 영상으로 재분할하는 영상 분할기 등의 CAD 툴을 개발하였다. 또한 편리하게 영상을 편집할 수 있도록 대화식 패턴매칭 방법과, 영상 분할 시간을 줄일 수 있는 휴리스틱 영역 탐색 방법을 개발하였다. 이 툴들은 방대한 영상 데이터의 처리를 위해 JPEG 영상 압축 칩이 장착된 고성능 그래픽 보드 상에서 개발되었다. 이들은 현장 테스트 중에 있으며, 실험 결과 수작업에 비해 작업 시간을 1/3 이하로 단축할 수 있었다.

Abstract

This paper describes CAD tools for the construction of image database in IC chip analysis CAD system. For IC chip analysis by high-resolution microscopy, the image database is essential to manage more than several thousand images. But manual database construction is error-prone and time-consuming. In order to solve this problem, we develop a set of CAD tools that include image grabber to capture chip images, image editor to make the whole chip image database from the grabbed images, and image divider to reconstruct the database that consists of evenly overlapped images for efficient region search. We also develop an interactive pattern matching method for user-friendly image editing, and a heuristic region search method for fast image division. The tools are developed with a high-performance graphic hardware with JPEG image compression chip to process the huge color image data. The tools are under the field test and experimental results show that the database construction time can be reduced in 1/3 compared to manual database construction.

I. 서 론

제조된 IC(Integrated Circuit) 칩에 대한 제조상의 문제점을 분석하기 위해, 칩을 고배율 현미경으로 촬영하여 얻은 칩의 사진을 설계 도면과 비교하거나, 회로를 재추출하여 설계 회로와 비교하는 방법이 사용되고

있다. 이 방법은 수천 장이 넘는 사진을 촬영하고 이를 서로 인접하게 붙혀 전체 칩사진을 구성하는 작업이 필요한데, 이 과정은 단순 반복적이며 실수하기 쉽고, 시간이 많이 걸리는 단점이 있다^[1]. 특히 반도체 기술의 발전으로 칩의 정밀도와 크기가 증가하면 보다 고배율의 촬영이 요구되어, 전체 칩 사진의 촬영 시간 및 분석 시간이 대폭 증가하게 된다. 따라서 이들 과정을 CAD 기술로 처리하여 IC 분석 시간 및 비용을 줄이기 위한 연구가 필요하다.

* 正會員, 韓國電子通信研究所 自動設計研究室

(Design Automation Sec. ETRI)

接受日:1995年8月22日, 수정완료일:1996年4月23日

IC 분석과 관련된 기존의 연구로는, 영상 처리(image processing) 기술을 이용하여 칩의 도면을 자동으로 인식하는 연구¹²⁾가 있다. 이 연구는 칩 영상 특성 및 관련된 영상처리 알고리즘 개발 등의 성과가 있었지만, polysilicon 이나 contact, 그리고 겹쳐진 패턴을 인식하기 어렵다는 문제점이 있다. 특히 패턴 인식을 위한 계산 시간이 많이 걸리고, 패턴 인식률이 칩의 decap 상태에 의존하는 단점이 있기 때문에, 대규모 칩에 대한 분석에 실용적으로 사용하기 어렵다. 패턴 인식의 단점을 회피하기 위한 방법으로 칩 영상 위에서 직접 도면을 수작업으로 작성하여 회로를 추출하는 연구가 있는데, 이 방식 역시 대용량의 도면 작성 작업이 요구되어 대규모 회로에 적용하기 어렵다. 현재 칩 분석의 대부분은 수작업으로 이루어지고 있어 이에 대한 CAD 기술의 적용이 요구되고 있다.

IC 분석용 CAD 시스템 개발을 위한 첫 단계는 칩 사진을 컴퓨터 영상으로 대치하여 영상 데이터베이스(database, 이하 DB)를 구축하는 것이다. 이 영상 DB의 구축은 프레임(frame)당 1 Mbyte 이상의 영상을 수천 프레임이상 촬영하고 처리해야 한다. 수작업에 의한 영상 DB 구축은 기존의 사진 작업과 마찬가지로 실수하기 쉽고 많은 시간이 소요되는 문제점이 있기 때문에 이를 개선하기 위한 CAD 기술의 적용이 요구된다.

본 논문에서는 IC 칩 분석용 CAD 시스템의 영상 DB 구축을 위한 CAD 툴의 개발에 대해 기술한다. 먼저 영상 DB 구축에서의 기술적 문제점을 분석한 다음, 영상 촬영, 영상 편집, 영상 분할로 이루어지는 영상 DB 구축의 각 과정을 지원하는 CAD 툴인 영상 촬영기, 영상 편집기, 영상 분할기의 개발에 대해 기술한다. 논문의 II장에서는 IC 분석용 CAD 시스템의 영상 DB 구축 과정 및 문제점에 대해 기술하고 이 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어적인 구성에 대해 기술한다. III장에서는 전체 칩의 일부분을 연속적으로 촬영하는 영상 촬영기와 GUI(Graphic User Interface)에 대해 기술하고, IV장에서는 서로 인접하게 촬영된 영상들로부터 전체 칩 영상 DB를 구성하는 영상 편집기와 이를 지원하기 위해 개발한 대화식 패턴 매칭방법에 대해 기술한다. 그리고 V장에서는 '영상 탐색의 효율화를 위한 영상 분할기와 휴리스틱 영역 탐색에 대해 기술하며, 끝으로 VI장에서는 결론과 앞으로의 연구 방향에 대해 기술한다.

II. IC 칩 분석용 CAD 시스템

1. IC 칩 분석 과정의 문제점

현재 IC 분석 과정은 그림 1.(a)와 같은 단계를 거쳐 수행되며, 이 과정의 대부분은 모두 수작업으로 수행된다. 먼저 제조된 IC 칩의 passivation과 metal 층을 선별적으로 제거한 칩을 고배율 현미경으로 촬영한 다음, 현상한 사진들을 서로 붙혀 전체 칩 사진을 만든다. 이러한 과정을 각 층별로 여러 번 반복하여 칩 사진을 구성한 다음, 전문가에 의해 제조상의 문제점 등을 분석한다.

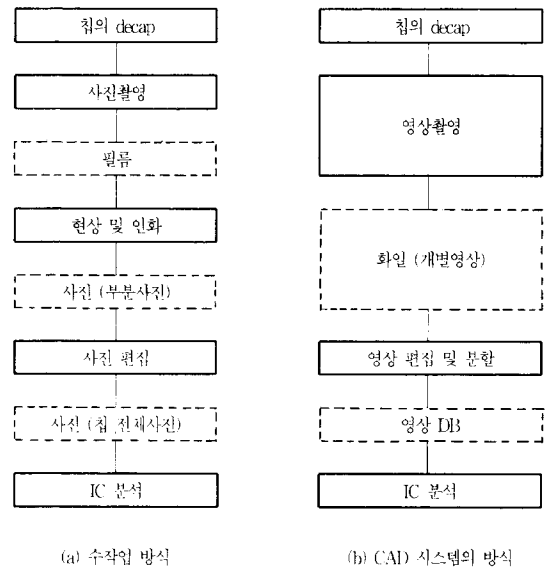


그림 1. IC 칩 분석 과정

(a) 수작업의 방식 (b) CAD 시스템의 방식

Fig. 1. IC chip analysis process.

(a) with manual process (b) with CAD system

이 과정에서 실제적인 IC 분석 과정을 제외한 사진 촬영 및 편집 과정은 단순 반복적이며 실수하기 쉽고 시간이 많이 걸리는 과정으로, 칩의 정밀도와 크기가 증가하면 보다 고배율의 촬영이 요구되어, 소요 시간이 대폭 증가하게 된다.

CAD 시스템에 의한 IC 분석 과정에서는 기존의 사진을 컴퓨터 영상으로 대치하여 처리한다. 고해상도의 CCD 카메라를 현미경에 설치하여, 컴퓨터에 칩 영상들을 저장한 다음, 인접한 영상들을 서로 붙혀 전체 칩 영상을 구성한다. 이 전체 칩 영상으로부터 칩을 분석한다(그림 1.(b)). 이러한 모든 과정을 컴퓨터에서 처리

하고, 실수 방지 및 간단한 검증 기능을 제공함으로써, IC 분석 작업을 쉽게 처리할 수 있도록 지원한다. CAD 시스템에 의한 IC 분석 과정은 종래의 수작업 방식을 비교하면 전체 흐름은 유사하나 다음과 같은 장점을 제공한다.

표 1. IC 분석 방법의 비교

Table 1. Comparison of IC analysis methods.

과정	수작업	CAD 시스템
촬영	- 어렵고 힘든 현미경 작업 - 촬영 실수는 현상이전에 알 수 없어 재촬영이 필요	- 모니터 상에서의 작업 - 촬영 실수는 바로 교정 가능
편집	- 사진 현상에 의한 대기 - 실수하기 쉬운 작업	- 대기 시간 없음 - 영상 처리 기법으로 처리 가능
IC 분석	- 여러 사람의 동시작업 곤란 - 분석 결과에 대한 검증의 어려움	- 동시에 여러 사람이 처리가능 - 분석 결과에 대한 검증이 용이 - 부분적인 분석 자동화 가능

2. 영상 DB 구축에서의 기술적 문제점

IC 분석용 CAD 시스템의 첫 번째 문제는 컴퓨터 영상이 사진에 비해 해상도면에서 뒤떨어지는 문제점이 있다. 그러나 CCD 카메라의 발전으로 화면에 보여지는 영상은 인간의 눈으로 보아 사진과 별차이가 없어, IC 분석에 큰 문제점이 없다. 보다 세밀한 분석을 요하는 부분은 영상이나 사진보다 현미경을 통한 직접적인 관찰이 요구된다.

두 번째 문제는 칩 영상을 흑백으로 처리하는 것은 IC 분석에 충분하지 못하기때문에 칼라 영상 처리가 요구된다는 점이다. 칼라 영상은 흑백 영상에 비해 처리할 데이터 량이 3배 이상 많기 때문에 영상 데이터에 대한 고속 처리가 요구된다. 이 문제는 고속의 칼라 영상 처리가 가능한 영상보드를 사용하여 해결할 수 있다. 또 가로/세로가 100 프레임 이상이 되는 방대한 칩 영상을 처리할 경우, 되도록 많은 영상을 화면에 표시하는 것도 중요한 문제이다. 이를 위해서는 화면 전체에 영상을 표시할 수 있는 영상 보드가 필요하다.

세 번째 문제는 수천 프레임의 칼라 영상을 보관하는 문제이다. 고해상도 고화질의 true-color 영상으로 영상 DB를 구축할 경우, 640x480 화소(pixel) 영상의 1 프레임 저장에 약 1.2 Mbyte의 디스크(disk) 용량이 소요되므로, 수천 프레임의 영상 촬영 작업을 요하는 IC 분석 작업의 경우에는 디스크 용량의 문제가 발생한다. 이 문제는 최근 활발히 연구되고 있는 영상 압축 기술^[3]을 이용하여 해결할 수 있다. 디스크 용량의

효율적인 이용은 물론, 저장/검색의 효율화를 위해서도 영상을 압축하여 보관하고 복원하는 것이 매우 중요하다. 영상의 압축 및 복원을 소프트웨어로 해결하는 것이 처리속도 면에서 문제가 되므로 실시간(real-time)으로 처리할 수 있는 하드웨어를 사용하여 처리한다.

3. IC 분석용 CAD 시스템의 구성

IC 분석용 CAD 시스템의 장비 구성은 그림 2와 같다. Decap 된 칩을 관찰하는 현미경과 영상을 디지털 신호로 변환하는 CCD 카메라, 영상을 압축하고 복원하는 JPEG 영상 보드, Xlib/Motif 그래픽 환경^[4]을 제공하는 SUN 워크스테이션, 그리고 영상을 사진 인화지에 출력하는 printer로 이루어진다.

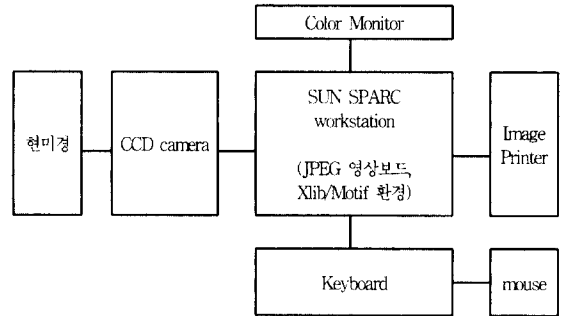


그림 2. IC 분석 CAD 시스템의 장비 구성
Fig. 2. Equipment of IC analysis CAD system.

2 절에서 설명한 기술적인 문제를 해결하기 위해 본 시스템에서는 Xvideo 영상 보드^[5]를 사용하였다. 이 보드는 640x480 화소의 고해상도 영상을 그래픽(graphibing)할 수 있고 24 bit true-color 영상의 실시간 처리가 가능하며, 특히 영상 압축 및 복원이 가능한 JPEG 하드웨어가 장착되어 1.2 Mbyte의 1 프레임 영상을 64 Kbyte이하로 저장할 수 있다. 또 화면 전체를 사용할 수 있으며, X 윈도우상에서의 소프트웨어 개발 환경을 제공하고 있다.

CAD 시스템에 의한 IC 칩 분석 과정도 기존의 사진 작업에 의한 IC 분석 과정과 마찬가지로 수천 프레임의 영상을 촬영하여 전체 칩 영상을 구성하는 영상 DB 구축 과정이 필요한데, 이 과정 역시 실수하기 쉽고 시간이 많이 걸리는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 영상 DB 구축의 각 과정을 지원하는 CAD 툴인 영상 촬영기, 영상 편집기, 그리고 영상 분할기를 개발하였다. 영상 촬영기는 기존의 사진을 촬영하고 현상하는 일 대신 CCD 카메라를 이용하여 칩 영상을 컴퓨터

에 화일로 저장하는 툴이다. 영상 편집기는 촬영된 영상을 컴퓨터 화면상에서 서로 붙여 전체 칩에 대한 영상 DB를 구축하는 툴이다. 영상 분할기는 IC 분석에 많이 사용하는 영역 탐색(region search)을 위해, 인접한 영상간의 겹치는 부분이 일정하도록 전체 영상을 분할하여 영상 DB를 재구성하는 툴이다. 각 툴은 대화식으로 수행되며, 효율적이고 일관된 GUI로 구현되었다.

III. 영상 촬영기

영상 촬영기는 CCD 카메라의 영상을 컴퓨터에 저장하는 소프트웨어로서, 힘들고 실수하기 쉬운 촬영 작업을 컴퓨터 화면 상에서 쉽게 처리할 수 있도록 개발한 CAD 툴이다. 이 장에서는 영상 촬영 작업에서의 문제점과 이를 해결하기 위한 GUI 구성과 그 구현에 대해 기술한다.

1. 영상 촬영의 문제점과 영상 촬영기의 GUI

Decap된 칩을 고배율의 현미경으로 촬영하는 영상 촬영 작업은 수천 프레임의 방대한 촬영이 요구된다. 이때, 각 영상은 초점을 정확히 맞춰 촬영되어야 하고, 또 인접한 영상간에 공백이 생기지 않도록 촬영되어야 한다. 특히 이들 영상들을 서로 붙혀 전체 칩 영상을 구성하기 위해서는, 붙혀야 할 위치를 쉽게 파악할 수 있는 특징점 부분이 인접한 영상들에 포함되도록 겹치지게 촬영해야 한다. 이 촬영 작업은 단순한 반복 작업이지만, 정확한 초점 조정 때문에 촬영자의 눈이 쉽게 피로해지며, 특히 이전에 촬영한 부분을 촬영자가 정확히 기억하지 못하면 인접 사진간에 공백이 생기는 경우가 발생하여 재촬영해야 하는 문제점이 있다.

이러한 촬영 작업의 어려움을 해소시키기 위해서는, 대물 렌즈를 통한 관찰을 컴퓨터 화면으로 대체시켜 촬영자의 눈이 피로해지는 것을 방지하고, 이전에 촬영한 프레임을 화면에 표시하여 줌으로써, 촬영자가 겹치는 부분을 기억할 필요없이 이전 프레임을 보면서 겹치게 촬영할 부분을 결정할 수 있도록 하는 기능이 요구된다. 이를 위해 현재 촬영중인 칩의 영상을 화면에 표시하는 동영상(live image) 윈도우와 이전에 촬영한 프레임을 표시하는 정지 영상(still image) 윈도우가 제공되어야 한다. 그 외 영상의 색상을 조절하는 기능, 그리고 영상 저장시 사용되는 화일 이름을 자동으로 설정해 주는 기능 등이 요구된다.

2. 영상 윈도우 구현

영상 촬영기의 영상 윈도우가 가져야 할 기능은 24-bit true-color의 동영상의 표시 기능, 영상을 화일로 저장하고 저장된 영상 화일로부터 영상을 표시하는 기능, 영상 윈도우의 expose 문제 처리 기능, 및 GUI 처리를 위하여 사용자의 입력 (마우스, 키보드) 처리 기능이 요구된다.

동영상은 IC 칩의 영상 촬영시 현미경의 스테이지(stage)를 이동시킬 경우, 이동에 따른 영상의 변화를 실시간으로 추적하여 촬영부분을 정확히 찾아낼 때 필요하다. 이 동영상 윈도우의 구현 방법은 외부 영상 신호로부터 한 프레임을 그레빙하여 영상 윈도우에 표시하는 과정을 연속적으로 반복하는 방법을 사용한다. 사용자로부터 처리 요구가 없을 때 어떤 작업을 자동으로 수행시키기 위해 Motif에서 제공하는 work procedure 을 이용한다. 이 procedure 는 한번 설정되면 컴퓨터가 다른 일을 하지 않을 때 이 procedure 에 정의된 처리 과정을 실행하며, return 값이 true 일 때까지 설정이 유효하다는 특징이 있다. 즉 return 값이 false 이면 처리 과정을 반복실행한다. 다음 루틴은 work procedure를 이용하여 동영상을 구현하는 방법을 나타낸 것이다.

```

동영상WorkProc() /* 동영상 표시를 위한 work procedure */
begin
    if (정지영상 모드이면) return false;
    외부 영상신호로부터 한 프레임을 정지시킴;
    정지시킨 정지 영상을 메모리에 보관하고 화면에 표시함;
    프레임에 대한 정지 해제;
    return false; /* 반드시 false 로 리턴 */
end;

```

정지 영상의 연속적인 그레빙에 의해 동영상을 구현한 이 방법은 영상 윈도우의 expose 문제와 화일 저장 문제를 쉽게 해결할 수 있다. 동영상의 expose 문제는 자동적으로 해결되며, 정지 영상의 expose 문제는 메모리에 저장된 영상을 화면에 다시 표시함으로써 해결된다. 또 영상의 저장 문제도 메모리에 저장된 영상을 디스크에 저장함으로써 간단히 해결된다. 이 방법은 고성능 그래픽 보드에 의해 실시간 적으로 처리되기 때문에 촬영자의 대기시간은 거의 없다.

본 영상 촬영기는 실험결과 시간당 약 300 프레임 정도의 영상을 실수없이 촬영할 수 있었다. 이는 기존의 사진 촬영에 비해 3배 이상의 빠른 속도이며, 촬영 실수가 없다는 장점이 있다. 이 속도는 컴퓨터로 제어 가능한 현미경을 사용하면 더욱 개선될 수 있다.

IV. 영상 편집기

영상 편집기는 영상 촬영기에 의해 촬영된 영상들을 컴퓨터 화면상에서 서로 붙여 전체 칩 영상 DB를 구성하는 CAD 툴이다. 이 장에서는 영상 편집 작업에 대한 문제점에 대해 기술하고, 이를 해결하기 위해 개발한 대화식 패턴 매칭 방법에 대해 설명한다.

1. 영상 편집의 문제점

영상 촬영기에 의해 촬영된 영상들은 인접한 영상과 부분적으로 겹쳐 있다. 이것은 전체 칩영상을 구성할 때 현미경의 스테이지 이동으로 생기는 오차를 허용하기 위한 여유 분이다. 인접한 두 영상을 서로 붙이는 것은 두 영상이 정확히 겹쳐지도록 한 영상을 이동시키는 것이 된다. 이 문제를 해결하기 위해 기존의 연구^[2]에서는 인접한 영상에서 공통의 특징점을 찾아내는 방법을 사용하였다. 그러나 이 방법은 촬영된 영상들이 일정한 크기로 겹쳐진 경우에 유용하다. 즉 서로 겹쳐진 부분이 일정하지 않을 경우에는 특징 점을 인식하는 범위가 유동적이기 때문에 특징점을 탐색하는 범위가 커져 처리 시간이 많이 걸리는 문제점이 있다. 특히 비슷한 특징점이 여러 개 존재하면 정확히 공유하는 특징점을 찾는 것이 어렵기 때문에 사용자가 결과를 조사하고 수정하는 것이 필요하다.

본 영상 편집기에서는 그림 3에서 보인 것처럼 인접한 영상의 공통된 특징점을 사용자가 직접 지정하는 대화식 방식을 사용한다. 이 방식의 문제점은 특징점을 사용자가 정확히 지정하는 것이 어렵다는 점이다. 이 점을 해결하기 위해 본 시스템에서는 사용자가 특징점 부분을 대강 지정하면 패턴 매칭 기술을 사용하여 정확한 위치를 시스템에서 찾는 방법을 사용하였다. 패턴 매칭에 소요되는 시간은 거의 실시간 적으로 단축하여 대화식 사용에 불편함이 없도록 하였다.

또한 촬영이 잘못되어 패턴 매칭이 잘 안되는 경우에 1 화소 또는 5 화소씩 미세하게 영상을 이동하여 영상들을 정확히 겹치게 하는 기능을 제공하여 패턴

매칭의 단점을 보완하였다. 영상이 정확히 겹쳐졌는지를 조사하기 위해 영상들의 겹쳐진 순서를 바꾸어 주는 기능을 제공하며, 다음 편집할 영상을 자동으로 입력하는 기능을 제공하여 사용자가 편집 작업에만 집중할 수 있도록 하였다.

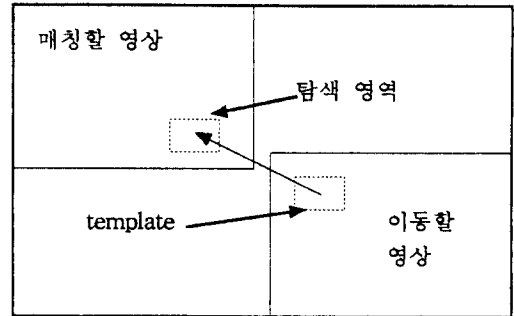


그림 3. 대화식 패턴 매칭
Fig. 3. Interactive pattern matching.

2. 대화식 패턴 매칭

영상 편집에서의 패턴 매칭 문제는 어떤 주어진 영역(탐색 영역)내에서 대상 물체(template)를 찾는 일종의 template 매칭 문제^[4]로 볼 수 있다(그림 3). 탐색 영역과 template는 사용자에게 의해 지정된다. 이때 두 영역의 크기는 처리 시간에 많은 영향을 준다. 특히 IC 칩의 영상에서는 비슷한 부분이 반복적으로 나타나는 경우가 많기 때문에 탐색 영역 내에 template 와 동일한 부분이 2 이상 존재하지 않을 정도로 작게 할 필요가 있다. 이렇게 탐색 영역과 template 의 크기가 작은 경우 처리시간이 매우 작기 때문에, 영상이 정확한 위치로 이동되었는지를 직접 조사할 필요가 있는 대화식 영상 편집에서 요구되는 실시간 처리가 가능하다.

본 영상 편집기에서 template 는 사용자가 지정한 점을 중심으로 한 24x24 화소의 크기를 가지며, 탐색 영역도 지정된 점을 중심으로 32x32 크기로 구성된다. 이 경우 사용자가 공통의 특징점에 대한 위치 지정의 허용 오차는 8 화소 정도이며, 이 크기는 조절할 수 있다. 매칭 방법은 탐색 영역을 순차적으로 template와 동일한 크기의 영역과의 RGB 값의 차를 계산하여, 그 값이 최소가 되는 위치를 찾는 방법을 사용한다. 다음은 패턴 매칭 방법을 간단히 기술한 것이다.

패턴매칭() /* 인접한 두 영상사이의 패턴매칭 */

begin

이동할 영상에서 24x24의 template 영상을 획득;
비교할 영상에서 32x32의 탐색 영역 영상을 획득;

탐색 영역에서 순차적으로 template 영상과 같은 크기의 영상을 추출;

추출한 영상과 template 영상과의 RGB 값의 차의 절대값을 계산;

이 값이 최소인 위치를 찾음;

매칭된 위치로 영상을 이동;

이동된 영상과 관련된 영상들의 위치 재조정;

end;

탐색 영역 내에서 template 영상 크기의 부분 영상을 추출할 때 XImage 데이터구조¹⁶⁾를 직접 이용하였고, 불필요한 계산을 회피하기 위한 threshold 값을 도입하여 패턴 매칭의 계산 속도를 단축하였다. 대부분의 경우 0.5초 이내에 처리되었다. 이 대화식 패턴 매칭을 이용한 영상 편집의 작업 속도는 시간당 300 프레임이상이었다. 기존의 사진 편집과 비교하면 3 배 이상 빠른 속도이며 실수가 거의 없다는 장점이 있다.

V. 영상 분할기

영상 편집기에 의해 구성된 전체 칩 영상 DB는 불규칙적으로 겹쳐진 개개의 영상들로 구성되어 있다. 영상 분할기는 이들 영상들을 바둑판 모양으로 균일하게 겹쳐진 개개의 영상들로 재구성하는 CAD 툴이다. 이 장에서는 영상 분할기의 기술적 문제점과 구현 방법에 대해 설명한다.

1. 영상 분할의 필요성

컴퓨터 화면 크기의 제약성 때문에 한번에 화면으로 볼 수 있는 부분은 전체 칩 영상의 일부분으로 제한된다. 보다 많은 부분을 보기 위해서는 영상을 축소해야 하지만 IC 분석의 대부분은 세밀한 관찰이 요구되기 때문에 축소하면 분석할 수 없는 경우가 많다. 따라서 사용자는 관찰하고자 하는 부분으로 이동하면서 IC를 분석한다. 이때 화면은 이동된 부분의 영상들로 채워지게 된다.

관찰하고자 하는 부분의 영상들로 화면을 채우는 문제는 그래픽스(graphics) 분야의 윈도우링(windowing)

문제¹⁷⁾이다. 관찰 대상 영역 즉 화면에 표시해야 할 영상들을 찾는 영역 탐색 문제와 영상의 일부분만 영역에 포함되는 경우의 영상 표시 문제 즉 클리핑(clipping) 문제를 해결해야 한다.

영상 편집기에 의해 구성된 칩 영상들이 서로 겹치지 않는다면 화면에 표시해야 할 영상은 최대 4(=2x2)장이지만, 만약 1/2정도씩 겹쳐져 있다면 모두 9(=3x3)장의 영상을 표시해야 한다. 특히 영상을 1/2정도로 축소하여 화면에 표시하는 경우에는 겹쳐지지 않은 영상들은 16장, 1/2씩 겹쳐진 영상들은 최대 49(=7x7)장이 요구된다. 겹쳐진 영상으로 화면을 채울 경우의 시간은 겹쳐지지 않은 경우에 비해 3 배정도의 시간이 소요된다. 따라서 고성능의 그래픽 카드를 사용하더라도, 화면에 표시할 영상의 수가 많아지면 대화식 처리에 요구되는 실시간 처리가 어렵게 된다.

그런데 겹쳐진 부분이 불규칙한 경우에는 윈도우링 문제는 보다 복잡하고 많은 계산 시간이 요구되는 영역 탐색 방법과 클리핑 방법을 사용하여야 한다. 영역 탐색 문제는 quadtree 등의 데이터 구조를 이용한 방법¹⁸⁾ 등을 이용하여 처리할 수 있으나 영상의 크기가 모두 동일하고 전체적인 분포가 거의 균일하기 때문에 큰 효과가 없다. 보다 큰 문제는 영상의 클리핑 문제인데, 개개의 영상이 JPEG 형식으로 보관되어 있기 때문에 저장된 영상 파일로부터 직접 필요한 부분 즉 화면에 표시해야 할 부분 영상을 생성하는 것이 어렵다는 문제가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 불규칙적으로 겹쳐진 영상들로 구성된 영상 DB를 균일하게 겹쳐진 영상들로 재구성하는 방법을 사용한다. 이때 약간의 결함을 허용하는 이유는 JPEG 영상의 복원시 영상의 가장자리 부분의 손상을 보완하기 위해서이다. 또 사용자가 관찰할 영역을 임의로 지정하는 것이 아니라 영역에 속하는 영상들에 대한 클리핑이 필요하지 않은 위치만 허용한다. 즉 영역의 크기는 영상 크기의 정수 배로 제한하며, 영역의 경계와 이 영역에 포함되는 영상의 경계가 일치하도록 영역의 위치를 제한한다. 이렇게 제한하면 윈도우링 문제는 2차원 적으로 균일하게 배열된 영상 중에서 영역에 완전히 포함되는 최소 수의 영상들을 찾아 이를 화면에 표시하는 작업으로 단순화되기 때문에, 복잡한 영역 탐색과 클리핑 과정이 불필요하여 실시간 처리가 가능하다는 장점이 있다. 이러한 제한은 IC 분석 작업에 아무런 해도 주지 않는다.

2. 영상 분할과 휴리스틱 영역 탐색

전체 칩영상을 구성하는 각각의 영상들은 모두 같은 크기를 가지면서 인접한 영상들과 겹쳐져 있다. 영상 분할은 불규칙하게 겹쳐진 영상들로부터 균일하게 겹쳐진 영상들로 분할하여 영상 DB를 재구성한다. 방법은 재구성하고자 하는 영상의 영역에 대한 윈도우를 적용하여 이 영역을 원래의 영상들로 채운 다음, 이 영역의 영상을 새로운 영상으로 저장하는 것이다. 이 영상 분할 문제는 특수한 경우의 윈도우 문제이다. 일반적인 윈도우 문제와의 차이점은 윈도우 영역의 크기가 채워지는 영상들의 크기가 동일하며, 영상 영역과 부분적으로 겹쳐지는 영상에 대한 클리핑이 불필요하다는 점이다. 이는 새로운 영상을 저장할 때 암시적으로 클리핑이 이루어지기 때문이다.

그런데 영상에 대한 클리핑을 생략하면, 영상 보드의 부작용(side-effect) 문제가 발생한다. Xvideo 보드에서는 영상이 화면을 벗어나면 벗어난 부분이 반대 방향의 화면에 나타나는 부작용이 있다. 화면을 벗어난 부분이 영상 분할에서 설정한 윈도우 영역을 침범하면, 분할하여 저장할 영상에 손상을 주게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 저장하는 영상의 크기를 전체 화면의 약 1/4 정도로 제한하였다. 인접한 영상들은 서로 겹쳐져 있고 윈도우 영역의 크기가 영상의 크기가 같기 때문에 윈도우 영역과 겹치는 영상들만을 표시한다면 화면을 벗어나는 영상이 반대 방향에서 윈도우 영역을 침범하는 경우는 발생하지 않는다. 또한 윈도우를 벗어나는 부분을 가능한 작게 하기 위해 윈도우 영역의 꼭지점을 포함하는 영상들 중에서 대응하는 꼭지점 간의 거리가 최소인 영상을 선택하도록 하였다. 각 꼭지점과 최소 거리의 영상은 윈도우를 벗어나는 부분이 최소이므로 반대 방향에 나타날 수 있는 부분이 최소가 된다. 예를 들어 그림 4에서 영상 1과 2는 모두 윈도우 영역의 좌상단 꼭지점을 포함하지만, 영상 1이 영상 2보다 좌상단 꼭지점이 영역의 좌상단 꼭지점에 가깝기 때문에 영상 1을 선택한다.

그런데 윈도우 영역의 각 꼭지점을 포함하는 4개의 영상들이 서로 인접한 영상과 겹쳐져 있고 또 적어도 하나의 대각선 방향으로 2 영상이 겹쳐져 있으면 이 4개의 영상만으로 전체 윈도우 영역을 완전히 채울 수 있다는 특징이 있다. 또 전체 칩 영상을 구성하는 영상들을 2차원 배열 형태이며 이들은 다음과 같은 관계를 만족한다.

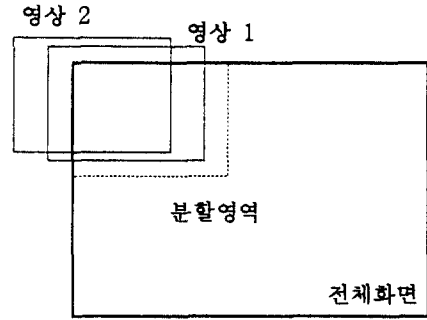


그림 4. 꼭지점을 포함하는 영상의 선택

Fig. 4. Selection of the image including a vertex.

$$xll(i,j) < xll(i,j+1) < xll(i,j) + W \text{ for all } i,j. \quad (1)$$

$$yll(i,j) < yll(i+1,k) < yll(i,j) + H \text{ for all } i,j,k. \quad (2)$$

여기서, $xll(i,j)$, $yll(i,j)$ 는 (i,j) 위치의 영상의 좌하단 x,y 좌표.

W,H : 영상의 폭과 높이.

이 식은 영상들이 서로 겹쳐져 있다는 것을 의미하며, 특히 식(2)는 i 번째 행의 모든 영상들은 $i+1$ 번째 행의 영상들보다 아래에 위치한다는 것을 의미한다. 이는 영상 촬영시 칩을 현미경 스테이지의 이동 방향과 평행되게 놓고 촬영해야 한다는 것을 의미한다. 그러나 겹치는 부분이 일정하지 않기 때문에, (i,j) 번째 영상과 $(i+1,j)$ 번째 영상이 서로 겹친다는 보장은 없다. 이 관계를 이용하면 영역 탐색에서 탐색의 범위를 축소할 수 있어 탐색 시간을 대폭 줄일 수 있다. 예를 들어 영상 (i,j) 가 꼭지점 $(xll+W, yll+H)$ 를 포함한다면 영상 $(i,j+1)$ 에 대한 탐색은 불필요하다. 왜냐하면 영상 $(i,j+1)$ 이 그 점을 포함한다고 하더라도 위의 관계에 의해 최소거리 조건을 만족할 수 없기 때문이다. Y방향도 이와 유사한 방법으로 탐색을 중지시킬 수 있다. 다음 루틴은 분할할 윈도우 영역을 완전히 채우는 4개의 영상들을 찾는 휴리스틱 영역 탐색 방법을 기술한 것이다.

휴리스틱 영역 탐색() /* 윈도우 영역을 채우는 영상들의 탐색 */

begin

영상(i,j) := 분할 영역의 꼭지점($xll, yll+H$)과 최

```

소 거리의 영상을 탐색;
if (영상(i,j+1)이 꼭지점 (xll+W,yll+H)을 포함)
  i-1 번째이하 행에서 나머지 꼭지점을 포함하는
  영상을 탐색;
else if (영상(i,j+1)이 꼭지점 (xll+W,yll) 을 포
  함) then
  i-1 번째이하 행에서 꼭지점(xll,yll)을 포함하는
  영상을 탐색;
  i-1 번째이상 행에서 꼭지점(xll+W,yll+H)을 포
  함하는 영상을 탐색;
else
  i-1 번째이하 행에서 나머지 꼭지점을 cover하
  는 영상을 탐색;
위 4개의 영상으로 영역을 완전히 채우는 지를 조
사;
end;

```

이 영역 탐색 방법은 분할할 영역의 꼭지점을 포함하는 영상들을 찾는 점 탐색(point search)으로 단순화시켜 탐색 시간을 단축한 방법이다. 특히 분할 과정은 순차적으로 진행되므로, 다음 분할할 영역의 좌상단 꼭지점 (xll,yll+H)을 포함하는 영상을 바로 알 수 있기 때문에 탐색 시간을 더욱 단축할 수 있다. 예외적인 경우가 존재하는데, 전체 칩 영상의 경계 부분에서 발생하는 영역의 꼭지점을 포함하는 영상이 존재하지 않는 경우와 꼭지점과 최소 거리인 4개의 영상이 윈도우 영역을 채우지 못하는 경우가 존재한다. 이들은 별도의 처리가 필요하다.

VI. 결 론

본 논문에서는 IC 칩 분석용 CAD 시스템의 영상 DB 구축을 위한 CAD 툴의 개발에 대해 기술하였다. 이 툴들은 힘들고 실수하기 쉬운 DB 구축 작업을 컴퓨터 상에서의 간편한 영상 처리 작업으로 전환하여

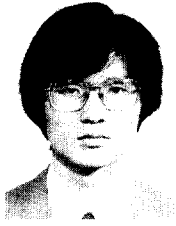
빠른 시간에 영상 DB를 구축할 수 있도록 구성되어 있으며, 방대한 영상 데이터의 처리를 위해 JPEG 영상 압축 칩이 장착된 고성능 그래픽 보드 상에서 개발되었다. 또한 편리하게 영상을 편집할 수 있는 대화식 패턴매칭 방법과, 영상 분할 시간을 줄일 수 있는 휴리스틱 영역 탐색 방법을 개발하였다. 이들은 현장 테스트 중에 있으며, 실험 결과 수작업에 비해 작업 시간을 1/3 이하로 단축할 수 있었다.

앞으로의 연구 개발 내용으로는, 현미경 제어에 의한 영상 촬영의 자동화와 이에 따른 영상 편집의 자동화에 대한 연구가 요구되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이성봉, 백영석, 박인학, "Reverse-Engineering 용 CAD 시스템," 대한전자공학회 CAD 및 VLSI 설계연구회지 제 3권 제 2호 pp.53-64, 1994
- [2] Simon Blythe, et al., "Layout Reconstruction of Complex Silicon Chips," IEEE Journal of solid-state circuits, Vol. 28, No. 2, pp. 138-145, Feb. 1993.
- [3] Anil K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, chapter 9, 11, Prentice-Hall, 1989.
- [4] Motif Programming Manual, Vol. 6, O'Reilly & Associates, Inc.
- [5] Xvideo Software Developer's Guide, Parallax Graphics, Inc. 1991.
- [6] Oliver Jones, Introduction to the X window system, chapter 8, Prentice Hall, 1989.
- [7] 오영환, 신성용, 컴퓨터 그래픽스, 6장, 홍릉과학출판사, 1990
- [8] Hanan Samel, Applications of Spatial Data Structures, chapter 2, Addison-Wesley, 1989.

저 자 소 개



李 省 奉(正會員)

1962년 1월 7일생. 1984년 2월
한양대학교 전자공학과 졸업(공
학사). 1986년 2월 한양대학교 전
자공학과 졸업(공학석사). 1991
년 2월 한양대학교 전자공학과
졸업(공학박사). 1991년 2월 ~

현재 전자통신연구소 자동설계 연구실 선임연구원. 주
관심 분야: 논리 합성, VLSI 설계 및 CAD

白 瑛 錫(正會員) 第 33卷 第 5號 參照

朴 仁 學(正會員) 第 33卷 第 5號 參照