

직교좌표를 이용한 HDD (Hard Disk Drive) 결함분포의 패턴 분류

Pattern Classification of HDD (Hard Disk Drive) Defect Distribution
Using Rectangular Coordinates

문운철, 김형석 · 중앙대학교 전자전기공학부, 강경훈 · 삼성SDS 정보기술 연구소
Un-Chul Moon, Hyeong-seok Kim · School of Electrical and Electronics Engineering ChungAng University
Kyung-Hoon Kang · SAMSUNG SDS Information Technology Research Team

ABSTRACT

본 논문에서는 불량 하드디스크 드라이브의 수리판정 자동화를 위해 필요한 하드디스크 드라이브(Hard Disk Drive, HDD) 결함의 분포패턴의 분류에 관한 연구 결과를 소개한다. HDD 제조공정에서는 테스트 진행 중 검출된 결함에 관한 정보를 HDD 내부에 기록한다. 불량으로 판별된 HDD는 내부에 기록된 결함의 분포를 관찰한 후, 불량 종류 및 그에 따른 처리방안을 결정한다. 본 논문에서는 효율적인 결함분포 패턴의 특징추출을 위해, 하드디스크의 물리적 특성에 대한 분석을 바탕으로 극좌표 (Polar Coordinates) 방식으로 표현된 결함 위치 데이터를 직교좌표(Cartesian Coordinates)로 변환한다. 그리고 디스크 상의 두 동심원 사이의 공간을 정해진 회전각별로 등분한 후, 나누어진 구간별로 결함 발생 빈도 히스토그램 (Histogram) 분석을 수행하여 결함분포의 패턴을 분류하는 알고리즘을 제시한다. 설계된 알고리즘은 실제 HDD 제조공정에서 발생한 불량 HDD Set을 대상으로 적용한 결과, 그 효용성이 검증되었다.

I. 서론

패턴인식이란 임의로 주어진 미지의 패턴을 여러 클래스 중의 한 클래스로 대응시키는 정보처리과정이다. 이는, 과학, 의학, 산업분야 등에서 염색체분석, 음성인식, 문자인식 등 다양하게 응용되고 있으며, 일반적으로 인식대상의 특성에 따라 패턴인식의 기법이 다양하다. [1][2][4]

HDD 제조공정에서는 HDD상의 결함의 분포가 문제부품 교체 및 재작업 지시 결정에 중요한 정보를 제공한다. 따라서 HDD특성에 기반한 결함분포의 패턴 분류에 관한 연구는 실제 생산 현장에 직접 적용될 수 있는 유용한 응용분야이다. 하지만 아직까지 HDD의 결함 패턴 분류에 관한 문헌은 보고 되어있지 않다. HDD는 생산 공정의 각 단계에서 각종 성능평가를 통하여 각 단계에서의 양품과 불량품으로 나뉘고 이에대한 정보를 HDD의 한 부분에 기록하게 된다. 불량 HDD Set에 대한 진단과 처리는 수리공정에서 담당한다. 수리사가 내리는 수리판정에 따라 해당 HDD Set의 재작업 및 부품교체가 이루어지기 때문에 정확한 수리

판정 여부는 공정의 수율(Yield) 및 생산비용 절감에 결정적인 영향을 미친다.

이러한 수리과정에서는 HDD의 결함의 분포를 판정하여 불량률의 종류를 나누는 중요한 자료로 사용한다. 수리과정에서 관리하는 HDD 결함분포의 표준 패턴 클래스는 6가지다. 작업자는 HDD 결함의 분포를 표준 패턴 클래스로 구분한 후, 그에 따른 후속 처리과정을 거쳐서 불량품의 처리를 완성한다. 실제 불량 섹터의 분포는 6가지 표준 패턴 클래스의 수많은 변형으로 존재할 뿐만 아니라, HDD 표면의 전반에 걸쳐 많은 미세한 결함들이 상존하기 때문에, 실제 수리사가 결함의 분포를 패턴 클래스별로 분류하는 작업은 수리사의 시각적 판단과 경험적 지식이 동원되는 복잡한 작업이다.

수작업에 기초한 수리판정 작업을 자동화하게 되면, 부정확한 수리판정에 기인한 추가공정비용 발생 및 부품추가소요, 수리사의 숙련도 편차에 따른 공정능력 저하 등을 예방할 수 있다. 이 때문에 수리판정 공정을 자동화하려는 많은 시도가 있었으나, HDD 결함분포 패턴분류의 어려움 때문에 가시의 성과를 거두지는 못했다.

본 논문에서는 실제 HDD 제조현장의 수리공정을 대상으로 HDD 결함분포의 패턴분류에 관한 연구 결과를 소개한다. 먼저 현장에서 각 대표유형별 HDD 결함분포 자료를 취합하였다. 그리고, 취합된 결함분포의 위치 데이터를 하드디스크의 물리적 특성에 대한 분석을 바탕으로 극좌표 (Polar Coordinates) 방식에서 직교좌표 (Cartesian Coordinates) 방식으로 변환하였다. 이후, 디스크 상의 두 동심원 사이의 공간을 정해진 회전각별로 등분한 후, 나누어진 구간별로 결함 발생빈도 히스토그램 (Histogram) 분석을 수행하여 결함분포의 패턴

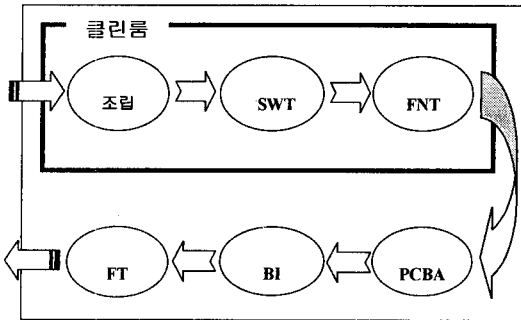
을 분류하는 알고리즘을 제시하였다. 설계된 알고리즘은 실제 HDD 제조공정에서 발생한 불량 HDD Set을 대상으로 적용한 결과, 그 효용성이 검증되었다.

II. HDD 수리공정의 개요

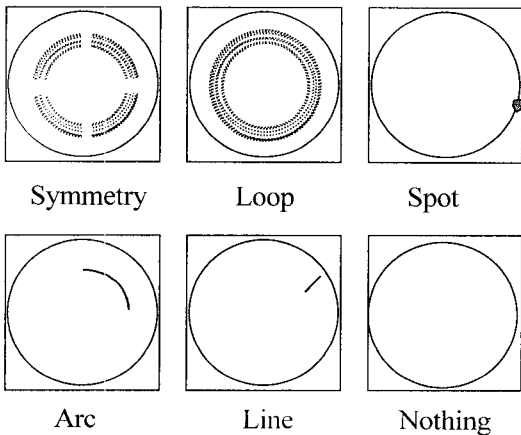
수리판정과 관련된 HDD Set의 물류는 다음 [그림 1]과 같다. HDD Set은 클린룸(Clean Room)에서 디스크, SPM(Spindle Motor), HSA(Head Stack Assembly), Cover 등의 부품으로 조립된 후, 디스크 표면에 각 실린더와 섹터를 구성하는 Servo Write Test (SWT)와 Function Test (FNT)를 거친다. 이후 클린룸을 나온 Set는 입출력과 Data Seeking에 관련된 제어를 담당하는 PCBA (Printed Curcuted Board Assembly)를 부착한 후, Burn-In (BI)과 Final Test (FT) 공정을 거친다. Burn-in공정은 Maintenance 실린더에 기록된 프로그램에 따라 고온의 스트레스 환경에서 여러가지 Read/Write 패턴을 실행하여 가혹상황에서의 HDD성능 및 신뢰성을 검증하기 위한 공정이다. Burn-In공정이 HDD Set 자체 내의 프로그램에 따라 동작하는 자율적인 테스트인 반면에 Final Test는 실제 사용자환경과 유사한 외부 커맨드(Command) 방식의 지시에 따른 입출력 Read/Write를 수행하여 HDD의 성능 및 신뢰성을 테스트한다.

Burn-in과 Final Test진행중 검출되는 결함에 대한 내역은 HDD Set내의 특정 실린더에 기록된다. HDD의 성능 및 신뢰성에 치명적인 결함이 검출되는 경우나, 결함 발생수가 HDD 모델별로 정해진 임계치를 넘어선 경우, 해당 HDD Set은 불량으로 판별되며 수리공정으로 이송된다. 수리공정의 작업자들은 해당 HDD

의 특정 실린더에 기록된 결함들의 분포를 관찰한 후, 결함분포를 6가지의 표준 패턴 클래스 중의 하나로 분류한다. HDD결함분포의 6가지 표준 패턴 클래스는 다음 [그림 2]와 같다.



[그림 1] HDD Set의 물류



[그림 2] HDD 결함분포의 패턴 클래스

결함분포의 패턴 클래스별로 후속 테스트 프로시저(Procedure)가 결정된다. 후속 테스트 프로시저의 수행결과에 따라, Disk교체 / HSA 교체 / PCBA교체 / 재Servo Write / 재Burn-In 등의 수리판정 결과가 도출된다. 예를 들면 결함분포가 Loop type인 경우 불량 헤드(Head)로 인한 불량일 확률이 높기 때문에,

HDD Set에 직접 Read/Write가 가능한 장비를 통해 해당 헤드에 반복적으로 Read / Write Test를 수행한다. Read/Write 에러 발생횟수가 임계치를 넘어선 경우, 헤드불량으로 판정하며, 해당 Set은 다시 클린룸으로 투입되어 헤드를 교체한 후, Servo Write Test공정부터 다시 시작한다.

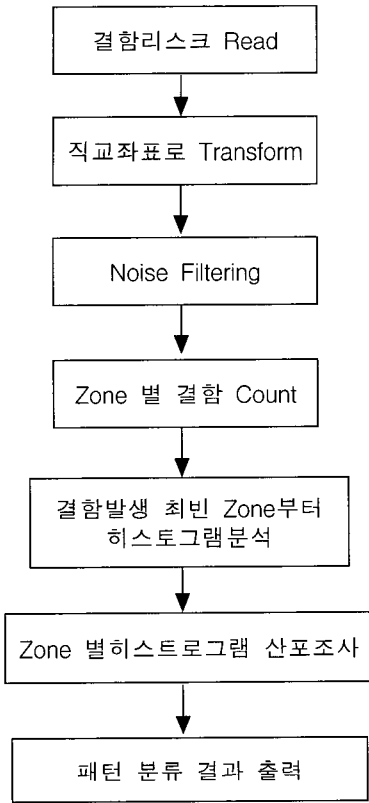
Ⅲ. HDD 결함분포의 패턴분류

1. HDD의 물리적 특성

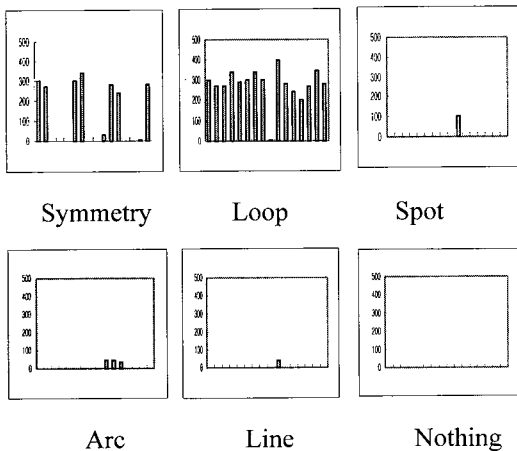
디스크는 표면에 동심원으로 구성된 실린더와 각 실린더내의 물리적인 최소 저장단위인 섹터 들로 구성되어 있다. 고속으로 회전하는 디스크와 디스크의 중심에 수직인 방향으로 왕복운동을 하는 HSA의 제어에 의해 고밀도로 집적된 디스크 섹터에 접근하여 데이터의 입출력이 수행된다. 이러한 HDD의 회전체로서의 특성 때문에 HDD 결함의 분포는 전반적으로 동심원 또는 디스크 중심에 대칭적인 형태를 띄고 있다. 또한 Disk의 집적도를 향상시키기 위해, Outer쪽의 실린더가 Inner쪽의 실린더에 비해 평균 섹터수가 많다. 섹터밀도에 따라 실린더를 그룹핑하는, 이를 Zone이라고 한다. 실린더별 섹터의 밀도가 다르다는 물리적 특성 때문에 HDD 결함의 특정 주요 패턴은 일개 Zone에 국한되어 나타난다

2. 패턴분류 알고리즘

본 연구는 상기 서술한 HDD의 물리적 특성을 감안하여 새로운 알고리즘은 [그림 3]과 같다.



[그림 3] HDD 패턴분류 Flow



[그림 4] HDD 결함분포 표준유형별 직교좌표 이미지

<표 1> 히스토그램 분석의 패턴분류 규칙

1차 증상	분석결과	판정결과
기준치(α) 이상의 히스토그램발견	히스토그램 분포가 주기적	Symmetry
	히스토그램 분포가 360 전역	Loop
	히스토그램 분포가 특정 구간에 집중	Spot
기준치(β) 이하의 히스토그램발견	인접한 히스토그램이 4개이상	Arc
	인접한 히스토그램이 2개이하	Line
히스토그램미발견	N/A	Nothing

제안된 패턴분류 알고리즘은, 결함의 위치 데이터를 일반적인 극좌표(Polar Coordinates) 대신에 직교좌표(Cartesian Coordinates)로 표현한다. 즉, HDD의 12시 방향을 기준으로 하여 시계방향으로 각도가 증가하는 것으로 설정하여 각 각도별 결함의 수를 직교좌표 상으로 나타내었다. [그림 4]와 같이 직교좌표로 표현된 결함 리스트를 좌표상에 표시하면 결함의 산포가 기하학적으로 단순해짐을 알 수 있다.

이 후백 이미지에는 Set의 불량률 결정하는 주요 패턴 구성 결함들 이외에 여분의 공간에 랜덤(Random)하게 결함들이 산포되어 있다. 효율적인 계산과 판정오류의 최소화를 위해 Block별 임계치를 이용한 필터링(Filtering)을 적용하여 주요 분포패턴을 구성하는 결함들만을 획득한다[3][4]. 필터링된 결함 리스트는 Zone별로 그룹핑하여 각 Zone별 결함빈도 발생수를 구한다. 결함이 많은 Zone순서별로 $4.5^\circ (=360^\circ/80)$ 사이즈를 가지는 구간을 독립 변수로 하고, 해당 구간별 결함발생 빈도를 중

속변수로 하는 히스토그램 분석을 수행한다. 이때, 80구간은 주어진 패턴들의 특성을 감안하여 경험적으로 선정하였다.

히스토그램 분석을 통하여 분석한 결과, 먼저 기준치 이상과 이하로 분류하고 기준치 이상인 경우 Symmetry, Loop 그리고 Spot으로 분류하고, 기준치 이하인 경우, Arc와 line 그리고 Nothing으로 분류 하였다.

기준치 이상인 경우, 결함이 100개 이상인 구간이 4개 이하인 경우에는 먼저 Spot으로 분류하고, 결함이 200개 이하인 구간이 40개 이하인 전역에 분포한 것으로 판단하여 Loop로, 40개 이상인 경우에는 주기적으로 분포한 것으로 판단하여 Symmetry로 분류하였다.

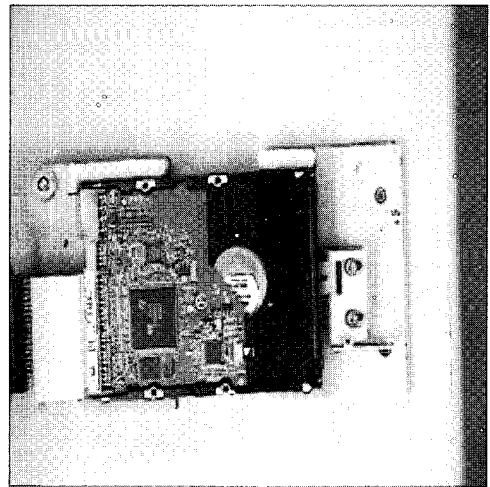
또한 기준치 이하인 경우, 인접한 히스토그램이 4개 이상이면 Arc로 그리고 2개 이하인 경우에는 Line으로 분류하였다. HDD 결함분포의 패턴분류 규칙은 <표 1>과 같다.

IV. 구현

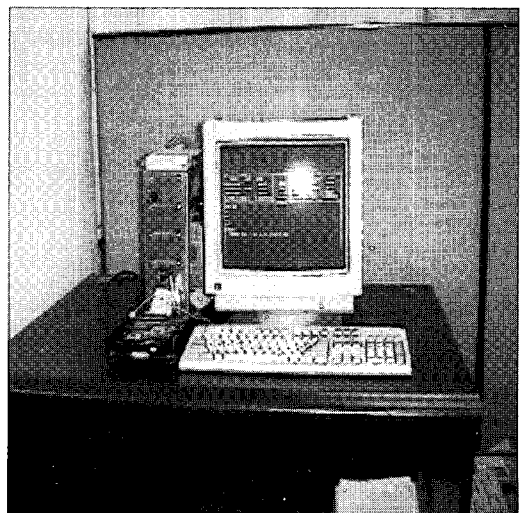
제안된 패턴분류의 알고리즘을 실제 HDD 제조공정에서 발생한 불량HDD Set을 대상으로 적용하였다. 기존 검사설비와의 호환성 보장을 위해 Dos환경에서의 Borland C++ 3.1을 개발 도구로 사용하였으며, HDD 결함정보를 HDD Set에서 읽어오기 위해 검사장비와 System Call방식의 인터페이스를 구현하였다.

대상 HDD를 연결하기 위하여 [그림 4]와 같이 설계된 착탈포트를 SCSI 방식으로 PC에 연결하는 방식을 취하였다. 즉, 각각의 불량 HDD를 착탈 포트에 연결한 후 PC상에서 개발된 프로그램으로 패턴을 판정하는 방식이다. [그림 5]는 HDD 패턴 분류를 위하여 개발된 PC 시스템이다.

구현된 결과를 300개의 Sample HDD에 대해서 실험한 결과, 5년 이상 수련도를 갖는 수리사의 판별결과와 273개가 일치하였고 나머지 27개에 대해서는 일치하지 않는 결과를 나타내었다. 이 때 일치하지 않는 패턴은 실제 수리사의 판단으로도 적절하게 나누어 지지않는 불분명한 패턴으로 분석되어, 패턴분석의 결과는 신뢰할 만 한 것으로 판정되었다.



[그림 4] 불량 HDD를 장착한 착탈포트



[그림 5] HDD 패턴 분류를 위한 PC 시스템

V. 결론

본 논문에서는 회전체라는 HDD의 물리적 특성에 근거하여 직교좌표로 표현된 HDD 결합 List에 대해 HDD Zone별 히스토그램 분석을 수행하여 패턴을 분류하는 알고리즘을 소개하였다. 현장에서 수집된 실제 불량 HDD Set를 분석하여 패턴의 특징 추출이 용이한 데이터 표현방식을 제시하였고, 히스토그램 분석에 기초한 의 패턴의 특징 도출하여 HDD 결합분포의 패턴을 분류하였다.

본 논문은 기존의 패턴인식 시스템 개발 방법론의 기초하에 HDD의 물리적 특성에 부합하는 HDD 결합 분포 패턴인식 알고리즘을 제안하였고, 이를 실제 생산공정에 적용함으로써 이론의 효용성을 검증하였다.

■ 참고문헌

- [1] 김상운, 패턴인식 입문, 홍릉과학출판사, 1995
- [2] 김화수, 조용범, 최종욱, 전문가시스템, 집문당, 1998
- [3] Rafael C. Gonzalez and Paul Wintz, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 1987
- [4] R.M. Haralick, K.Shanmugam, and I. Dinstein, "Textural Features for Image Classification", *IEEE Trans. Sys., Man, Cybern.* SMC-3, No.6,pp. 610-621, 1973

저자 소개



문운철(文雲哲)

1991년 서울대학교 전기공학과
졸업, 1993년 동 대학원
석사 및 1996년 동 대학원
박사

1996년-2000년 까지 삼성SDS
재직

2000년 9월-2002년 8월까지 전주
우석대학교 전기공학과 전
임강사

2002년 9월-현재 중앙대학교 전자
전기공학부 전임강사

관심분야는 지능시스템/제어이론
및 전력계통과 산업 현장에
의 적용

Tel : 02-920-2586

E-mail : ucmoon@cau.ac.kr



김형석

1985년 서울대학교 공대 전기공학
과 졸업

1987년 동 대학원 석사과정 졸업
(석사)

1990년 동 대학원 박사과정 졸업
(박사)

1990-2002년 순천향대학교 전기전자
공학부 부교수. 현재 중앙대
학교 전자전기 공학부 부교수

Tel. 02-820-5287

E-mail : kimcaf2@cau.ac.kr

강경훈

저자자료 미제출