

2축 이송계 정밀도 측정을 위한 레이저 간섭계 4축 자동정렬장치 개발

김현수*, 홍성욱**

Development of a 4-axis Auto-aligning System for Precision Measurement of 2-axis Feeding Systems Using Laser Interferometer

Hyun-Soo Kim* and Seong-Wook Hong**

ABSTRACT

Although laser interferometer is widely accepted as a tool for measurement of motion accuracy, the set-up procedure is time-consuming because of the strict requirement on alignment between laser head and optic units. This paper presents a 4-axis auto-aligning system which is useful for easy set-up of laser interferometer so as to evaluate precision of a 2-axis feeding system. This paper proposes two ideas for alignment in laser interferometer set-up: one is use of mirror and retroreflectors and the other is taking advantage of the pre-defined movement and peculiar characteristic of retroreflectors. The pros and cons of the two methods are discussed. Illustrative experimental results are presented, in which the developed system is applied to a XY table.

Key Words : Laser interferometer(레이저간섭계), Auto-aligning system(자동정렬장치), Retroreflector(역반사계)

1. 서론

대부분의 산업 기계에는 작업 목적에 부합되도록 이송계가 장착되어있다. 산업 기계의 발달과 더불어 정밀성이 한층 더 요구되고 있는 이송계의 정밀도를 측정하기 위해 레이저 간섭계(Laser interferometer)가 많이 사용되고 있다. 레이저 간섭계는 이송계 오차를 정밀하게 측정하기 위해 고안된 것으로 측정 종류에 따라 여러 가지의 광학계를 조합하여 사용한다^{1,2)}. 그러나 측정 대상물에 대한 레이저 간섭계 셋업 작업은 실제 측정에 비해 볼 때 많

은 시간과 사용자의 숙련된 기능을 요구하고 있다. 특히 2축 이상으로 구성되어 있는 대부분의 이송계에서는 이송오차를 측정, 평가하기 위해서 메쉬(Mesh)형태의 측정을 필요로 하는데 두 축에 대한 메쉬형태로의 측정을 위해서는 위치를 이동하면서 측정장치 셋업을 반복해야 하므로 많은 시간을 소모할 수밖에 없어 측정의 효율을 떨어진다.

본 연구에서는 쉽고 빠르게 레이저 간섭계 셋업을 완료하고 측정에만 전념 할 수 있도록 이송계 정밀도 측정을 위한 4축 자동정렬장치와 운용을 위한 알고리즘을 개발하였다. 정렬 알고리즘으로는

* 회원, 금오공대 대학원

** 회원, 금오공대 기계공학부

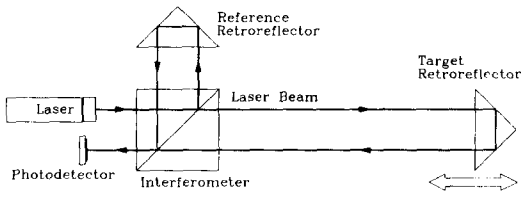


Fig. 1 Ideal set-up of a laser interferometer for linear displacement measurement

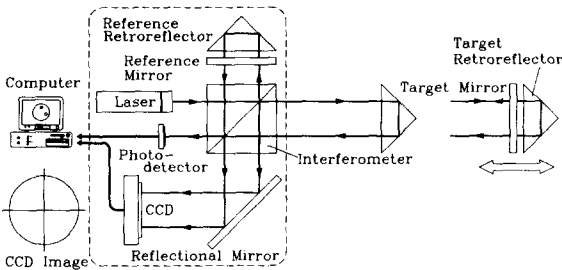


Fig. 2 Schematic diagram of the developed auto-aligner using the mirrors and retroreflectors

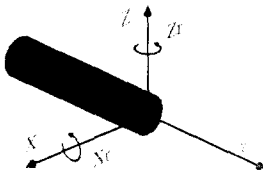


Fig. 3 Coordinates system for auto-aligner

두 가지로서 거울과 역반사계(Retroreflector)를 이용한 방법^[3]과 이송계 이동량과 역반사계를 이용한 방법을 제안하였다. 개발된 자동정렬장치를 한 XY 테이블에 적용한 결과 측정시간 손실을 현저히 줄일 수 있음은 물론 측정 장치 셋업과정에서 발생하는 코사인 에러(Cosine error)를 제거할 수 있으므로 정확한 측정이 가능함을 확인하였다.

2. 4축 자동 정렬 장치 개발

레이저 간섭계 셋업은 수동조작으로 이루어지므로 많은 시간을 필요로 한다. 특히 측정 장치를 많이 다루어보지 않은 초보자의 경우는 측정 자체의 시간보다 측정장치 셋업에 더 많은 시간을 소모하게 된다. 특히, 2축 이상의 이송계에 대한 배위 측정의 경우 한 축 측정마다 레이저 간섭계를 이동하고 다시 셋업이 이루어져야하므로 셋업을 위한

시간소비가 증가하게 되어 측정의 효율성이 떨어지게 된다. 본 연구에서는 레이저 간섭계 사용에 있어서 이러한 불편을 해소할 목적으로 이송계 정밀도 측정을 위한 4축 자동 정렬 장치와 운용을 위한 알고리즘을 개발하였다.

Fig. 1은 이송계의 선형 변위 측정을 위한 레이저 간섭계의 이상적인 정렬상태를 나타낸 것이다. 레이저 헤드에서 방출된 레이저광은 광분할기에서 분할되어 기준 역반사계(Reference retroreflector)와 대상 역반사계(Target retroreflector)에 입사된 후 반사되어 되돌아오고 두 빛은 간섭계(Interferometer)에서 다시 만나게 되어 간섭현상을 일으킨다. 이송 테이블에 고정된 대상 역반사계의 움직임에 따라 간섭양상이 달라지는데 이러한 특성을 레이저 헤드에 부착된 수광센서에서 포착하여 이송 테이블 변위를 결정한다. 이상적인 정렬이 이루어지기 위해서는 레이저광 축과 이송계 이동 축이 평행을 이루어야 하고 대상 역반사계 표면에 수직으로 광이 입사되어야 한다. 또한 되돌아오는 광이 수광부에 정확히 도달하기 위해서는 대상 역반사계의 측정 점에 정확히 입사되어야 한다. 그러나 레이저 광축이 이송계에 장착된 역반사계에 대해 각오차와 위치오차가 있으므로 정렬 과정을 통해 이들 오차를 보정한 후 측정을 실시하게 된다. 일반적으로 이와 같은 정렬과정에서 많은 시간을 필요로 하게 된다.

2.1 거울과 역반사계를 이용한 정렬 방법

2.1.1 시스템 구성

Fig. 2는 거울과 역반사계의 특성을 이용한 정렬 방법의 개념도를 나타낸 것으로서 기존 광학계에 3개의 거울과 분해능이 640× 480인 CCD 카메라를 추가하였다. 정렬 오차를 보정할 목적으로 Fig. 3에 보인 것과 같이 레이저 방출 방향을 Y축으로 할 때 X축과 Z축 그리고 각각의 회전축에 스텝 모터를 장착하여 운용 프로그램에 의해 레이저 헤드가 4축으로 제어되도록 구성하였다. Fig. 4는 개발된 4축 자동정렬장치를 보인 것인데 X축의 경우 선형운동 장치를 장착하여 배위 측정에 유리하도록 하였다. 한편, 레이저 헤드와 독립적으로 설치되던 간섭계와 기준 역반사계를 헤드에 고정하므로써 셋업을 간편하게 할 수 있도록 하였다. CCD 카메라 역시 레이저 헤드에 고정되어 모터 제어 시에 동시에 움직이면서 정렬오차를 검출한다.



Fig. 4 Auto-aligner : CCD camera and interferometer are put together with the laser head

2.1.2 오차 검출 및 보정

Fig. 5는 각오차 검출 및 보정 개념도를 보인 것이다. 기준 거울에서 되돌아온 광은 각오차의 기준 점이 되고 대상 거울에서 되돌아온 광은 각오차 정보를 가지고 있다. 거울 면에 대해서 광이 수직으로 입사되면 광은 직선의 경로를 따르고 수직을 이루지 못할 경우는 점선 경로를 따르게 되어 CCD 카메라에서 검출된 각오차 정도에 따라 각오차 보정 축을 구동하여 광이 거울 면에 수직으로 입사되도록 할 수 있다. 대상 거울에서 되돌아온 광이 기준 광과 일치하면 광은 거울 면에 수직으로 입사하게 되어 각오차가 제거된다. 측정 대상물의 각오차가 θ 라고 하면 반사광은 2θ 가 되고 광의 이동거리가 길기 때문에 미소 각오차에 대해서도 검출이 용이하다.

Fig. 6은 레이저광의 각오차 검출 및 정렬과정에 대한 CCD 카메라 영상 및 정렬 상태 그래픽을 나타낸 것이다. 그림의 왼쪽은 기준 거울에서 반사된 광에 대한 기준 영상을 나타낸 것이고 가운데는 대상 거울로부터 반사된 레이저광의 각오차 정보를 나타낸 것으로 CCD 영상에는 기준 광과 각오차광을 동시에 보이고 있으며 그림 상단에 표시된 작은 그래픽은 검출되어 계산된 각오차를 나타낸다. 기준광 측정 및 오차 검출 방법으로는 CCD에 포착된 레이저 광의 중심을 이용하였는데 적당한 값 (Threshold)에서 이진화 하여 무게 중심법으로 중심점을 산출하였다¹⁾. 여기에서 각오차 영상이 기준영상으로 이동하도록 각오차 보정 모터를 구동시켜 가장 우측의 그림과 같이 되도록 레이저광의 각오차를 보정한다. 이렇게 하여 CCD 영상은 두 개의 영상이 한 곳에 모이므로 밝아지게 되고 그래픽 화

면에서는 두 점이 하나로 모이게 된다. 오차보정 시간은 사용자 허용 오차 설정 정도에 의존하며 각 오차 보정이 끝나면 두 거울 제거하고 역반사계를 이용하여 레이저광의 위치 오차를 보정한다.

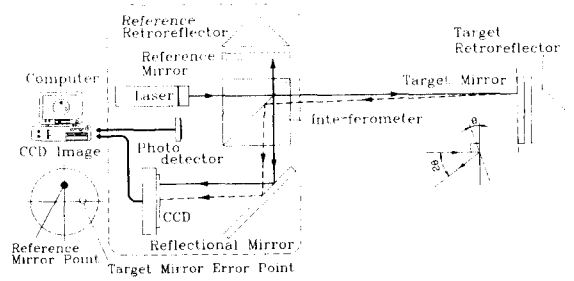


Fig. 5 Conceptual diagram for detecting the angular misalignment



Fig. 6 Illustration of auto-compensating process for the angular misalignment

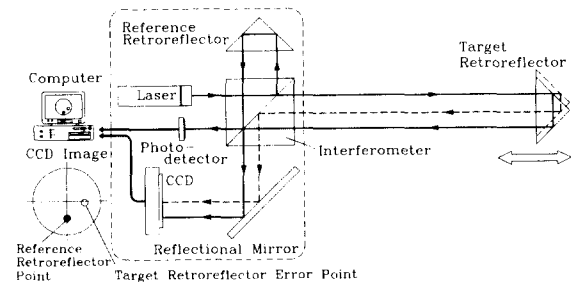


Fig. 7 Conceptual diagram for detecting the parallel misalignment



Fig. 8 Auto-compensating process for the parallel misalignment

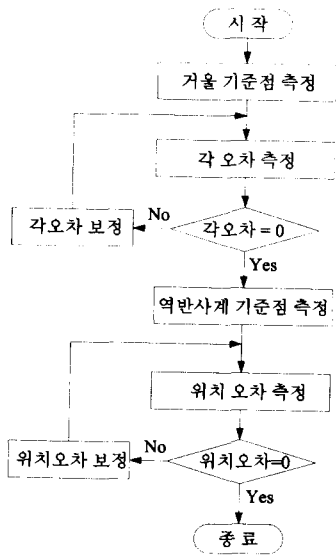


Fig. 9 Flow chart for the auto-aligning procedure using mirrors and retroreflectors

Fig. 7은 측정장치의 위치오차 검출 및 보정 개념도이다. 광학계 제작 시에 거울 면과 역반사계의 표면은 평행이 되도록 하였으므로 역반사계의 각오차는 무시할 수 있다. 기준 역반사계로부터 반사된 광은 위치오차의 기준이 되고 대상 역반사계에서 되돌아오는 광은 위치 오차가 없으면 실선의 경로를 따르고 위치오차 발생 시에는 점선의 경로를 따르게 되는데 검출된 오차 정도에 따라 X축과 Z축을 구동하여 위치오차를 보정한다. Fig. 8은 위치오차 검출 및 보정 과정에 대한 CCD 영상 및 정렬 그래픽을 나타낸 것이다. 왼쪽 그림은 기준 영상을 나타내고 오른쪽은 위치오차 보정이 완료되어 레이저 간섭계의 정렬이 완료된 상태를 보인 것이다. Fig. 9에는 거울 및 역반사계를 이용한 정렬 알고리즘의 순서도를 나타낸 것으로서 정렬을 시작해서 레이저 광의 각오차가 허용오차 안에 들어올 때까지 각오차 보정 축을 제어하고 각오차 보정이 완료되면 위치오차를 측정하여 허용범위에 놓일 때까지 위치오차 보정 축을 제어하여 정렬을 완료한다.

2.2 이송계 자체이동과 역반사계를 이용한 정렬 방법

2.2.1 목적

거울과 역반사계를 이용한 정렬방법에서 정렬 정도가 장치 정밀도에 무관한 장점을 가지는 반면 거울을 탈착해야하는 불편함이 있으며 레이저 광축과 이송계 이동축의 차이에 의해 발생할 수 있는 코사인 에러는 보정할 수 없다. 여기서는 이러한 문제를 보장하기 위해 이송계 이동방과 역반사계를 이용한 정렬방법을 개발하였다.

2.2.2 오차 검출 및 보정

Fig. 10은 이송계의 이동량과 역반사계를 이용한 정렬 개념도를 나타낸 것이다. 레이저 헤드에는 간섭계와 기준 역반사계 그리고 CCD 카메라가 고정되어있으나 그림에서는 복잡성을 피하기 위해 표시하지 않았다. 사용자에 의해 대상 역반사계는 이송계 위에 고정되고 레이저 헤드의 대략적인 정렬이 이루어진 상태에서 자동 정렬을 실시하면 기준 역반사계로부터 측정된 기준 점을 기준으로 대상 역반사계의 1차 위치오차 보정이 이루어진다. 이때 레이저 헤드는 이송계 이동 축과 θ 의 각도를 갖는데 이송계를 일정 거리만큼 이동하고 이동량을 입력하여 2차 위치오차 보정이 이루어지면 레이저 헤드를 X축으로 평행 이동함에 의해 X축 이동량을 알 수 있으므로 θ 를 얻을 수 있다. 계산된 θ 만큼 레이저 헤드를 회전하여 각오차 보정이 이루어지면 레이저광 축과 이송계 이동 축이 평행을 이루게 되어 코사인 에러가 제거됨으로서 정확한 측정을 가능하게 한다. 각오차 보정 후 3차 위치오차 보정에 의해 정렬이 완료된다¹⁵⁾. 한편 위치오차는 X와 Z축에서 발생하는데 Z축의 경우도 X축 정렬방법과 동일하며 자동 정렬 시에 동시에 이루어진다.

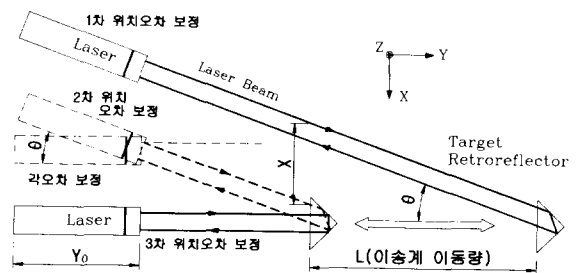


Fig. 10 Schematic diagram of the developed auto-aligner using the table movement and the retroreflectors

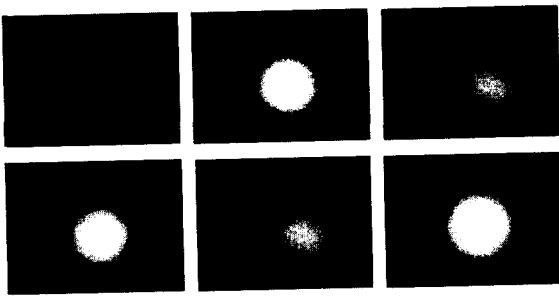


Fig. 11 A demonstration for the auto-compensating process for misalignment

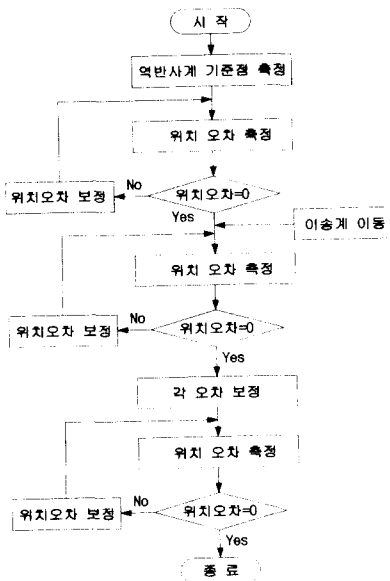


Fig. 12 Flow chart for the auto-aligning procedure using the table movement and the retroreflectors

Fig. 11은 정렬과정을 CCD영상으로 나타낸 것인데 왼쪽 위에서부터 차례로 역반사계의 기준점 상태, 1차 위치오차 보정결과, 이송계 이동상태, 2차 위치오차 보정상태, 각오차 보정중인 상태 및 3차 위치오차 보정결과를 나타내고 있다. Fig. 12는 정렬과정에 따른 순서도를 보인 것으로 1차 위치오차 정렬 후 이송계를 이동하고 2차 위치오차 정렬이 이루어지면 각오차 보정 후 3차 위치오차 보정이 이루어지면서 정렬이 완료된다.

2.3 운용 프로그램 개발

4축 자동정렬장치 운용 소프트웨어는 측정장치

의 정렬 오차검출 및 보정을 행하며, 사용자의 편의를 위해 수동 조작 창과 정렬 오차 보정에 따른 그래픽 화면을 두었으며, 위키의 시스템에 대한 적용성을 높이도록 RS-232C통신을 포함하였다. Fig. 13은 운용 소프트웨어의 주 화면으로 정렬에 따른 실시간 영상을 나타낸다. Fig. 14는 수동 조작 창과 자동 정렬 창을 보인 것으로 수동 조작 창에는 배쉬 측정을 위한 사용자 이동 버튼을 두어 이송 테이블을 일정량만큼 이동할 수 있도록 하였다. 자동 정렬 창에는 정렬순서에 따라 그래픽 정보와 문자 메시지를 표시하여 사용자가 메시지 정보에 따라 정렬 작업을 수행하도록 구성하였다

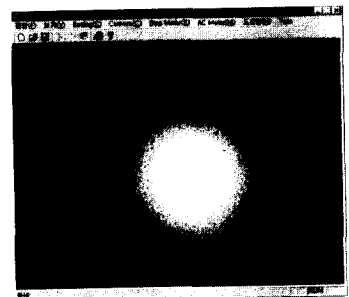


Fig. 13 Main window in the program

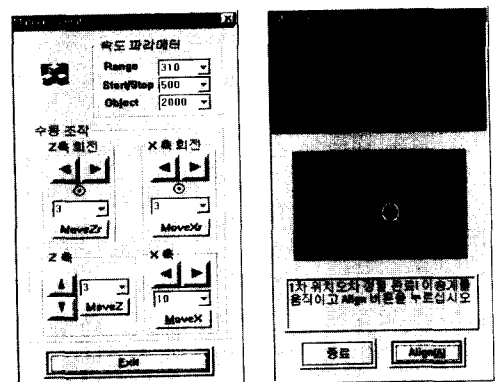


Fig. 14 Manual operation window and auto-aligning operation window in the program

3. 정렬장치 적용 : XY 테이블 위치오차 측정

개발된 자동정렬장치를 한 XY 테이블에 적용하여 측정의 타당성 및 효율성을 검증하였다. XY 테이블 각 축의 측정거리를 360mm로 하고 20mm씩

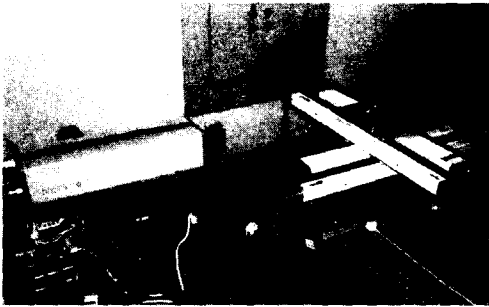


Fig. 15 Experimental set-up of the auto-aligning system to measure the 2-dim position error of a XY table

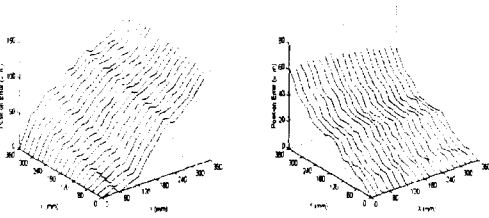


Fig. 16 An experimental result by using the presented system : measured position error for the XY table

움직이면서 테이블 위치오차를 측정 형태로 측정하였다. Fig. 15는 개발된 4축 자동정렬장치의 적용예를 보인 것이다. Fig. 16은 Y축을 이동하면서 X축 위치오차를 측정된 결과와 X축을 이동하면서 Y축 위치오차를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

본 실험에서는 측정장치 셋업시간을 포함한 총 측정 시간에 대해서 기존의 방식과 비교하였다. 먼저 개발된 자동정렬장치와 이송계의 자체이동을 이용한 경우 한 축에 대해서 한 번의 셋업만이 필요하며 10분 이내에 완료되었으며 전체적인 측정시간은 측정 파라미터 선정이나 사용자에 따라 약간의 차이는 있겠으나 본 실험의 경우 XY 테이블에 대한 측정 데이터 얻는데 약 2시간 정도 소요되었다. 기존 정렬 방식의 경우 레이저 간섭계를 전문적으로 다룬 사람의 경우에도 한번의 셋업을 마치기까지 15분 정도 소요되기 때문에 이 실험을 하기 위해서는 레이저 간섭계 셋업에만 9시간 이상을 소비하게 되었으며 장시간의 측정에 따른 측정 신뢰도 저하도 상당한 문제점이 되었다. 따라서 개발된 장치를 이용하게 되면 측정시간 단축뿐만 아니라 측정신뢰도 향상에도 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 레이저 간섭계를 이용하여 이송계의 정밀도를 측정하고자 할 때 레이저 간섭계 셋업을 간편히 할 수 있도록 4축 자동정렬장치를 개발하였다. 두 가지의 정렬 아이디어를 제안하였는데 거울과 역반사계를 이용한 경우 측정 셋업이 대상 이송계에 무관하게 이루어지는 장점이 있지만 거울을 작탈해야 하므로 다소 번거롭고 이 과정이 측정정밀도에 영향을 줄 수 있다는 단점이 있다. 이송계 자체 이동량과 역반사계를 이용한 방법은 별도의 거울을 이용하는 과정이 필요 없으므로 정렬작업이 편리하고 측정작업 전체가 자동화될 수 있다. 또한 정렬과정에서 코사인 에러가 제거되므로 정확한 측정을 가능케 해준다.

개발된 자동정렬장치를 한 XY 테이블에 실험 적용한 결과 측정장치 셋업 시간 단축은 물론 측정장치에 대한 초보자라 할지라도 쉽고 빠르게 측정장치 셋업을 완료할 수 있었다. 특히 이송계 두 축에 대한 측정 시간이 이루어질 경우 현저하게 측정시간을 단축시킬 수 있음을 확인하였다.

후기

본 연구는 경북도청, 중기청에서 지원하는 '98 금오공과대학교 산학연 지역 컨소시엄 과제로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 홍성욱 외, Wafer Prober 용 정밀 XY 테이블의 위치오차 측정 및 보정 기술 개발, 금오공과대학교 산학연지역컨소시엄 과제 보고서, 1999.
2. 강희중, 김현수, 홍성욱, 김원남, "웨이퍼 프로버용 이송테이블의 오차측정 및 특성 분석," 한국정밀공학회 '99 추계학술대회논문집, pp. 95-98, 1999.
3. 김현수, 홍성욱, "XY테이블 이송 정밀도 측정을 위한 자동정렬장치 개발," 한국정밀공학회 '99 추계학술대회논문집, pp. 160-163, 1999.
4. Baxes, G. A., Digital Image Processing, pp. 155-168, John Wiley & Sons, Inc., 1994.
5. HP 5529A Dynamic Calibrator Getting Started Guide, Hewlett-Packard Company, 1st ed.