

통합 프린지 해석 시스템 개발 : 심한 잡음을 포함하는 간섭 이미지 해석용

강민구* · 주원종† · 차동진** · 강보선***

(2002년 11월 1일 접수, 2003년 8월 11일 심사완료)

Development of Integrated Fringe Analysis System: For Severe Noise-ridden Interferometric Image Analysis

Mingu Kang, Wonjong Joo, Dongjin Cha and Bosun Kang

Key Words : Interferometry(간섭계), Fringe Analysis(프린지 해석), Fringe Tracking(프린지 추적), Phase Shifting(위상천이), Fourier Transform(푸리에 변환)

Abstract

A new window-based, user-friendly fringe analysis system is developed, especially for analyzing noisy interferograms. The system integrates three major techniques, that is fringe tracking, Phase shifting, and Fourier transform, into a single shell by employing a unified procedure. Since the system is made in a modular fashion and all processing modules can be shared for any technique, a user can select necessary modules and easily edit the applying order of them based on the user's analysis strategy, which should be changed depending on the noise level of the image. The system provides a high-level GUI and a variety of image handling tools and therefore users can easily access the system and produce the optimal results without giving up in the middle of a process even for severely noise-contaminated interferometric images.

1. 서론

간섭계는 변위, 온도, 압력 등의 데이터를 추출하는데 있어서 그 정확도나 광역 측정 능력, 비삽입 및 비파괴 측정 등의 장점으로 인하여 정밀측정의 중요한 툴로서 자리를 잡아 왔다. 그 동안 여러 가지의 간섭계가 개발되고 실용화 되어 왔는데 이는 컴퓨터의 발달로 인하여 간섭 이미지의 자동 해석 프로그램들이 개발되어 해석 시간을 크게 단축할 수 있었기 때문이다.⁽¹⁾ 그러나 이제까지 개발된 프로그램들은 다양한 간섭 이미지 패턴

과 그 속에 존재하는 다양한 노이즈를 처리할 수 있는 범용 해석 툴로서는 사용하기에 미흡한 점이 많았다. 특별히 노이즈 레벨 (SNR)이 높거나 노이즈의 사이즈가 클 경우 또는 해상도가 어느 정도 이하로 떨어지면 대부분의 프로그램들은 해석을 중간에서 포기해야 할 경우가 허다하였다. 그 한 예로 미국 NASA 에서 지난 수년간 우주공간에서 실시한 “극 미소 중력 하에서 진동이 열 부력에 의한 대류에 미치는 영향 (The effects of vibration on thermal buoyancy-driven convection under microgravity)” 의 실험에서는 많은 간섭 이미지 데이터 (STABLE on STS-73: CHUCK Data)를 얻었는데 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 노이즈가 너무 심해 정량적인 해석은 하지 못한채 몇 년간 그 현상만을 파악하는 정성적인 자료로만 이용되었다. 좁은 우주선 내에서의 실험은 공간상의 제약 조건으로 인하여 소형화된 마이켈슨 간섭계 (Michelson interferometer)를 이용하였는데 실험 내용상 연속적인 영상 획득이 필요하여 통상 사용

* 회원, 인텍플러스 기술연구소
† 책임저자, 회원, 서울산업대학교 기계설계자동화학부
E-mail : joo@snut.ac.kr
TEL : (02)123-1234 FAX : (02)123-1234
** 회원, 한밭대학교 건축설비공학과
*** 회원, 전남대학교 자동차공학부

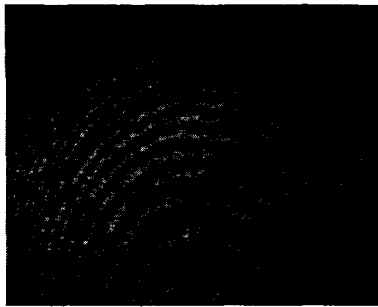


Fig. 1 Noisy CHUCK data image

되는 CCD 카메라 대신에 소형화된 비디오 카메라가 사용되었다. 그러나 비디오 이미지가 갖는 한계성으로 인하여 심한 노이즈(high noise level), 낮은 분해능(low resolution) 및 낮은 대비성(low contrast)의 간섭이미지를 얻을 수 밖에 없었다.

지난 십여 년간 국내외에서 크고 작은 해석 프로그램이 개발되어 왔으나 해석 방법이나 프로그램 구조가 매우 경직되어 있어 다양한 노이즈를 포함하는 간섭이미지를 해석하는데 어려움이 많았다.⁽²⁾ 본 연구에서는 다양한 간섭이미지를 해석할 수 있는 윈도우 기반(Windows-base)의 범용 프로그램을 개발하는 것을 목표로 세웠는데 이제 이의 기반을 이루었다고 할 수 있다. 본 시스템의 모든 필요한 기능들은 모듈화되어 차후 이를 보완하거나 확장시키는데 용이하게 하였다.

본 시스템에서 채용한 해석 기법은 현재 가장 많이 사용하고 있는 프린지 추적 방법(Fringe tracking), 위상천이 방법(Phase shifting), 푸리에 변환 방법(Fourier transform)이다.⁽³⁾ 이제까지 이 세가지 해석기법은 각각 별개의 것으로 취급되어 사용되어 왔으나 본 연구에서는 2, 3 장에서 기술한 바와 같이 세가지 해석기법을 통합하여 하나의 단일 해석기법(Unified Procedure)으로 만들었으며 각 해석방법에서 필요로 하는 해석 모듈들을 통합하여 공통으로 사용할 수 있게 만들었다. 따라서 사용자는 메뉴화된 모듈들을 원하는 해석방법에 따라 해석 순서를 편집할 수가 있다. 이를 위해 프로세서 편집기(Process Editor)라는 모듈이 개발되었는데 이를 이용하면 해석 모듈들을 순서에 따라 편집할 수 있을 뿐 아니라 해석이 진행되는 중간에도 필요에 따라 추가로 모듈을 삽입하거나 제외시킬 수 있어 해석의 융통성을 기할 수 있다.

본 시스템을 실제로 사용하는데 있어서는 노이즈 정도에 따라 자동 해석과 반 자동 해석으로 나뉘어 지는데 노이즈 정도가 양호한 경우에는 해석이 전 자동으로 이루어지며 노이즈가 심각한 경우에는 일차적으로 자동으로 해석을 한 후 노이즈

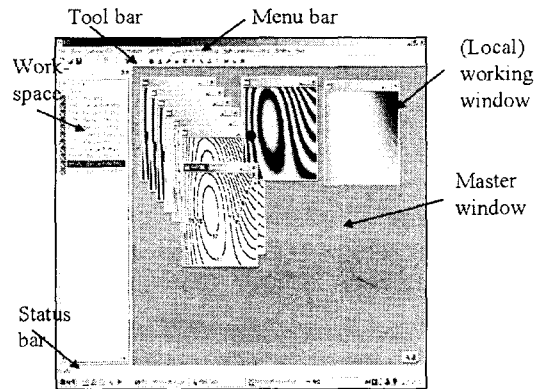


Fig. 2 System GUI

처리가 제대로 이루어지지 않아 해석이 미흡한 부분에 대해서는 이차적으로 대화형으로 수정토록 하여 해석을 중도에서 포기하는 일이 없도록 하였다. 이를 위해 국부적인 수정을 쉽게 하기 위한 기능들의 서브 모듈들이 개발되어 포함되어 있다. 또한 본 시스템에서는 이미지 처리를 하는데 있어서 이미지가 파일 형태로만 저장되어 있으면 프레임 그래버(Frame grabber)나 비디오 프로세서(Video processor)와 같은 하드웨어가 전혀 필요하지 않고 MS Windows 와 Visual C++에서 제공하는 기능만으로 모든 해석이 가능하도록 하였다. 단 카메라나 VCR로부터 외부 이미지를 직접 받아들이는 경우를 위해서 Matrox MeteorII 프레임 그래버 보드를 장착하였다.

2. 시스템 구조

2.1 GUI (Graphic user interface)

개발된 시스템은 32-bit 성능의 윈도우 기반의 프로그램으로 MS Visual C++로 개발되었으며 다양한 간섭이미지를 해석할 수 있는 범용 소프트웨어 패키지이다. 본 시스템은 사용자 친숙 (User-friendly)의 해석 환경을 만들기 위하여 고급의 GUI 를 구축하였다.⁽⁴⁾ 해석에 필요한 모든 기능들은 메뉴 바나 툴 바에서 해당 메뉴나 아이콘을 단순히 마우스로 클릭을 하면 실행된다.

시스템의 GUI 화면 구성은 Fig.2 에서 보는 바와 같이 크게 3 부분 - 1) 메뉴/툴 바(Menu/tool bar), 2) 마스터 윈도우(Master window), 3) 작업 공간(Work space) - 으로 나누어진다.

메뉴 바에는 모듈들이 그룹별로 모아져 있는데 Fig.3 에서 보는 바와 같이 File, View, Camera/VCR, Techniques, Set ROI, Low-level Processing, High-level

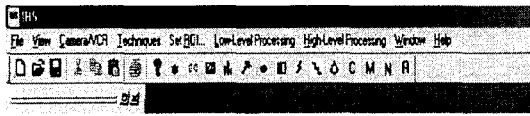


Fig. 3 System's menu bar and tool bar

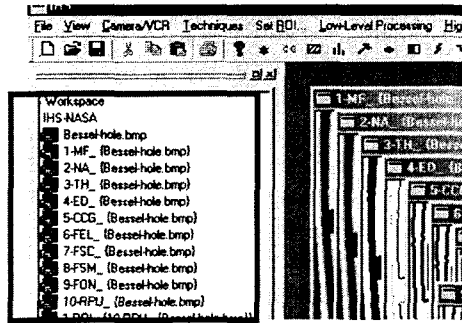


Fig. 4 GUI's Workspace

Processing, Window, Help 의 그룹으로 나누어져 있다. 각 그룹의 서브 메뉴에는 MS Windows 가 일반적으로 제공하는 유틸리티들과 간섭이미지 해석에 필요한 해석 모듈들이 포함되어 있는데 해석 모듈들에 대해서는 툴 바에 아이콘 형태로도 나타나 있어 현재 활성화된 작업 창(Active Window)의 이미지에 대해서 해석 모듈을 마우스로 클릭하면 실행이 되고 해석 결과를 즉시 볼 수 있다.

마스터 윈도우에는 이제까지 작업된 각 단계의 이미지들이 개별 창안에 나타나 있다. 어느 이미지 윈도우든지 마우스로 클릭을 하면 즉시 활성화되고 여기서부터 다음 작업을 실행시킬 수 있다. 또한 모든 윈도우 화면의 배치는 MS Windows 가 제공하는 Tile 이나 Cascade 의 형태로도 보일 수 있어 사용자가 해석된 내용을 한눈에 파악할 수 있다.

화면 왼편에 위치한 작업공간(Work space)에는 이제까지 해석된 각 단계에서의 모든 이미지들이 순서대로 나열되어 있는데 각각의 이미지의 이름은 적용된 해석 모듈의 약자 이름을 갖게 된다. 예를 들면 미디언 필터링(Median filtering)이 적용된 이미지는 MF 라는 이름을 갖는다. 따라서 이 작업공간을 살펴보면 이제까지의 작업 내역 및 작업 순서를 한눈에 알 수 있다.

작업공간에서는 여러 가지 작업을 할 수 있는데 이미지를 하드 디스크로부터 불러오거나 필요 없는 이미지를 삭제할 수 있고 또 여기서 프로세스 에디터를 호출하여 해석 모듈들을 편집할 수도

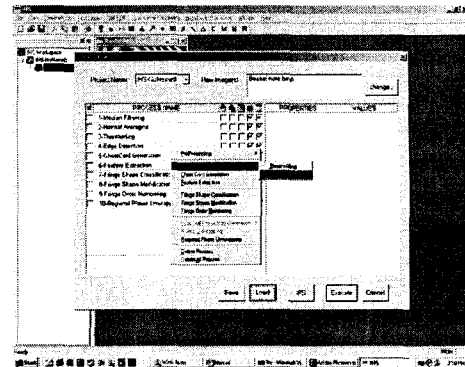


Fig. 5 Process Editor

있다. 이미지 이름에 마우스로 클릭을 하면 해당 윈도우가 마스터 윈도우에서 활성화되어 거기서부터 다음 작업을 시작할 수 있다. 이 작업 공간은 필요에 따라 화면으로부터 숨겨져서 전체 화면을 마스터 윈도우로 사용할 수 있다.

2.2 프로세서 편집기(Process Editor)

본 시스템이 가지는 주요 장점 중에 하나는 해석방법 및 해석 프로시저를 사용자가 원하는 대로 편집할 수 있는 것이다. 간섭이미지는 실험방법이나 작업조건에 따라 그 형태가 다양하고 또한 여러 종류의 노이즈가 복잡한 형태로 간섭이미지 속에 중첩되어 있어서 기존의 프로그램에서와 같은 일률적인 방법으로는 해석 못하는 경우가 많이 생긴다. 따라서 여러 종류의 간섭 이미지를 해석할 수 있는 범용 프로그램이 되기 위해서는 사용자로 하여금 간섭이미지의 상황에 맞는 해석 전략을 짤 수 있고 이에 따른 해석 모듈의 순서를 임의로 쉽게 편집할 수 있어야 한다. 개발된 프로세서 편집기에서는 이와 같은 문제를 해결할 수 있는데 이의 주요 기능을 요약하면 1) 해석 모듈을 상황에 맞게 편집하는 기능(Process customization), 2) 편집된 내용을 자동으로 실행하는 기능(Process automation), 3) 이를 통해 작업의 내역(History)을 언제나 알 수 있는 기능으로 말할 수 있다. 만약 편집된 내용대로 실행을 했는데도 만족한 결과를 얻지 못하면 사용자는 그 결과를 그대로 편집된 내용의 일부를 변경하여 재 실행시켜 볼 수가 있다. 이와 같은 수정작업은 간단한 마우스 조작으로 쉽게 모듈들을 빼거나 삽입할 수 있다. 성공적으로 수행된 편집 내용은 파일 형태로 하드 디스크에 저장될 수 있어서 나중에 유사한 간섭이미지를 해석할 경우 저장된 파일을 불러와 그대로 적용하여 많은 시간을 절약할 수 있다.

2.3 통합된 단일 해석기법

개발된 시스템은 현재 가장 많이 사용되고 있는 세 가지의 해석방법 즉 프린지추적 방법⁽⁵⁾ 과 위상천이 방법⁽⁶⁾ 그리고 푸리에 변환 방법⁽⁷⁾ 을 통합하여 하나의 해석 틀로 만들고 이들에게 필요한 모든 해석 모듈들을 모아 사용자로 하여금 간섭 이미지의 상태에 따라 이에 적절한 해석 모듈들의 선택하여 최적의 해석방법을 편집할 수 있도록 하였다. 통합된 해석 기법은 Fig.6 에서 보여주는 바와 같이 두가지의 단계로 나눌 수 있는데, 많은 수학 계산이 요구되는 알고리즘적인 하위 프로세싱(Low-level processing)과 지식 기반의 룰에 의하여 해석하는 상위 프로세싱(High-level processing)이 그것이다.⁽⁹⁾ 이 단일화된 해석 기법은 프린지 추적방법이 주 골격을 이루면서 위상천이 방법이나 푸리에변환 방법시에 필요로 한 모듈들이 첨가된 형태이다. 즉 $[0, 2\pi]$ 로 구속된 위상을 계산하는 모듈(Wrapped phase map calculation module)과 지역별 위상풀이 모듈(Regional phase unwrapping module)이 추가되었다.

하위 프로세싱에서는 간섭이미지 해석에 필요한 네 가지의 필터가 들어 있는 예비프로세싱(Preprocessing)모듈과 이진화(Thresholding), 경계

검색(Edge detection), 및 특성추출(Feature extraction)을 수행하는 영역분할(Segmentation)모듈이 있다. 그리고 상위 프로세싱에는 추출된 프린지의 특성에 대한 지식정보를 이용하여 프린지 모양 구분(Fringe shape classification)모듈, 프린지 모양 수정(Fringe shape modification)모듈, 그리고 프린지 수차 매김(Fringe number ordering)모듈이 있다. 상위 프로세싱 모듈 내에 있는 지역별 위상풀이(Regional phase unwrapping)모듈은 상기의 3 가지 모듈을 다 거치고 난 결과를 이용하게 된다.⁽⁹⁾

특별히 지역별 위상풀이 모듈은 기존의 개발된 위상풀이 알고리즘들과는 접근하는 방법이 근본적으로 다르다.⁽¹⁰⁾ 지역별 위상풀이 방법은⁽¹¹⁾ 상위 프로세싱에서 산출되는 최종 프린지 번호값를 이용하여 각 지역의 번호와 그 지역 고유의 2π 배수 값 (2π multiple)을 먼저 할당한다. 여기서 지역이라 함은 프린지에 의해서 나누어지는 영역을 지칭한다. 지역 별 위상풀이는 이러한 지역 정보와 $[0, 2\pi]$ 로 구속된 각 화소의 위상 값 (Wrapped phase value)을 합하여 최종 위상 정보를 얻는 작업이다. 이 지역별 위상풀이 모듈에 대한 상세한 내용은 다음 논문에서 기술하기로 한다.

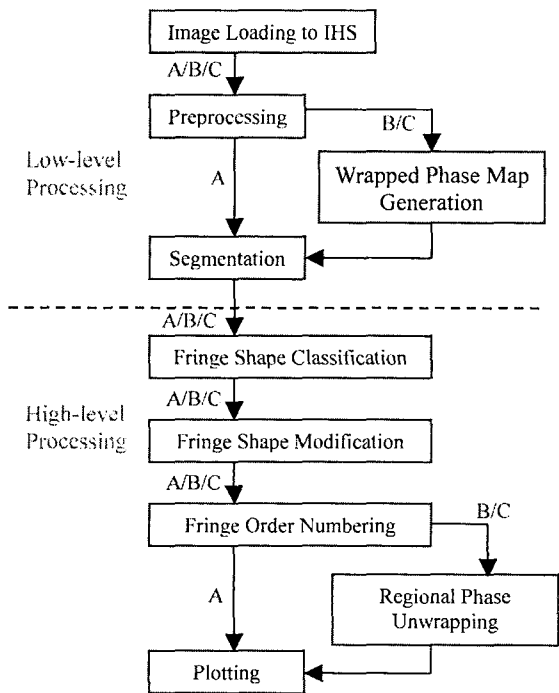
3. 간섭이미지 해석 방법

3.1 해석영역 선정(Selection of region of interest)

열유체 실험에서 얻어지는 상당수의 간섭이미지에는 여러가지의 요인에 의하여 해석할 수 없는 해상도의 영역이 존재하게 되며 이를 해석 영역에서 제외시키지 못할 경우 해석 자체가 불가능해진다. 본 시스템은 사용자로 하여금 해석 불가능한 영역을 쉽게 제외시킬 수 있는 모듈을 첨가하여 간섭이미지가 심각한 노이즈를 포함하고 있더라도 최대한 살릴 수 있도록 하였다. Fig.7 은 해석되어야 할 영역의 바깥부분과 내부의 일부분을 해석에서 제외시키는 과정을 보여주고 있는데 사용자는 임의의 형태로 제외 영역을 설정할 수 있다.

3.2 하위 프로세싱(Low-level Processing)

하위 프로세싱에는 필터링을 통하여 해석 초기에



A: Fringe Tracking; B: Phase Shifting; C: Fourier Transform technique

Fig. 6 Integrated unified procedure

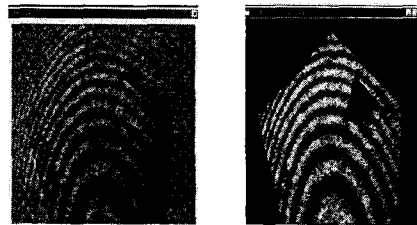


Fig. 7 Selection of region of interest

가능한 한 많은 노이즈를 제거하는 예비프로세싱 모듈(Preprocessing)과 처리할 데이터의 수를 줄임으로서 지식 기반의 상위 프로세싱의 부담을 덜어주는 영역 분할 및 특성추출을 수행하는 모듈 (Segmentation)이 있다. 또한 위상폴리 방법이나 푸리에 변환 방법에 필요로 하는 일차적인 위상 데이터 계산 즉 $[0, 2\pi]$ 로 구속된 위상 데이터를 산출하는 모듈(Wrapped phase map calculation module)이 들어 있다.

예비프로세싱 모듈에는 4 가지의 필터 - 정상 스무딩(Normal smoothing), 미디언(Median), 방향성 스무딩(Directional smoothing), 그리고 배경 노이즈 제거(Background noise elimination) - 를 가지고 있는데 간섭이미지의 전 영역에 퍼져 있는 다양한 노이즈를 일률적 기법에 의해 제거한다. 이 중에서 방향성 스무딩 필터⁽¹²⁾는 일반적으로 사용하는 3x3 이나 5x5 마스크 대신에 1x9 의 기다란 마스크를 이용하는데 마스크가 프린지 방향에 따라 스무딩을 수행하도록 하게 하여 블러링 현상이 발생하지 않으며 오히려 프린지의 방향성을 강화하는 방향으로 스무딩이 진행된다. 이와 같은 효과 때문에 큰 사이즈의 노이즈에 의하여 프린지가 끊겼을 경우에 이를 복원하려는 효과가 있어 상위 프로세싱의 성공률을 현저히 증가시켜 준다. 방향성 스무딩 필터를 사용하기 위해서는 전체 간섭 이미지를 방향성이 비슷한 프린지끼리 모은 소 영역 분할 작업(Subarea division)이 필요하며 스무딩은 각 영역 별로 얻어지는 프린지 방향을 좇아 1x9 의 기다란 마스크(Slender mask)를 이용하여 행하여진다. 본 시스템은 사용자가 손쉽게 영역을 분할하고 각 영역별 대표 방향값을 얻을 수 있도록 영역 분할 간격선(Grid) 편집 기능 및 영역 별 프린지 방향타(Direction indicator) 편집 기능이 마련되어 있다. Fig.8 은 방향성 스무딩 필터의 적용 예를 보여주고 있는데 Fig.8(c)는 방향성 스무딩 필터 없이 통상적으로 사용되는 필터들(Normal smoothing and median smoothing filters)을 적용한 후 이진화 (Threshold)한 결과이고 Fig.8(d)는 방향성 필터를 추가로 적용했을 때의 이진화 된 결과를 보여 준다. 방향성 필터를 적용했을 경우 프린지의 방향성이 강화되어 프린지 에지의 형상이 향상됐으며 끊겨진 프린지들이 여러 곳에서 연결됐음을 보여 준다. 만약 노이즈가 많은 간섭이미지에 대하여 방향성 스무딩 필터를 적용하지 않은 경우에는 상위프로세싱에서 실패할 확률이 매우 높다.

예비프로세싱의 필터링과정을 거치면서 향상된 프린지 패턴은 이진화(Threshold) 및 에지 검출(Edge detection) 과정을 통해 화소(pixel)로 구성된 면적단위의 데이터로부터 선(line) 단위 데이터로 변환되어 처리해야 하는 데이터의 양이 상당히 감소하게 된다. 지식 기반의 상위 프로세싱에서는 적은 양의 데이터를 처리할 때에만 그 효력이 있으며

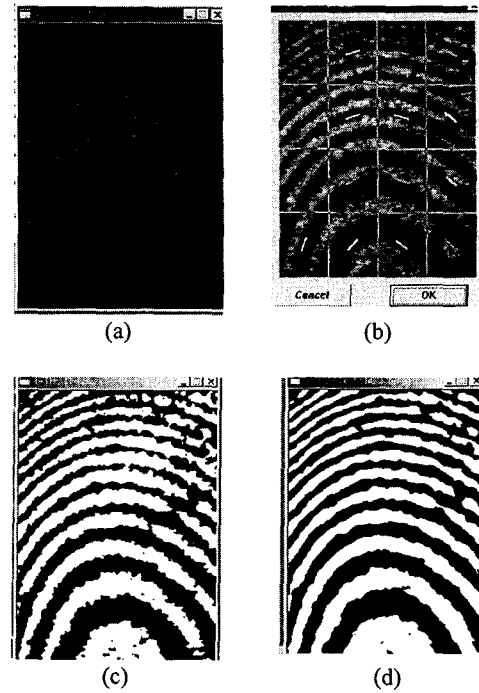


Fig. 8 Application of directional smoothing filter; (a) original image; (b) directional smoothing dialog box; (c) threshold without directional smoothing; (d) threshold with directional smoothing

데이터의 수가 많아질수록 계산 양이 기하급수적으로 증가하여 해석할 수 없게 된다. 따라서 검출된 에지선은 먼저 체인 코드화 작업을 통해 개별의 선 프린지(Line fringe)로 만들어 지는데 이는 각 선프린지를 구성하는 화소들의 모든 좌표값이 데이터 베이스에 저장되는 것을 의미한다. 특성검출 모듈에서는 이러한 선 프린지의 체인 코드로부터 각 선 프린지의 형상 특성들을 검출되어 데이터 베이스에 저장된다. 하나의 특성 데이터는 단순한 데이터에 불과하지만 여러개의 특성 데이터를 합성하면 상위 프로세싱에서 사용되는 중요한 지식기반 룰(Knowledge-base rules)이 된다. Fig.9 는 에지 검출 후 체인코드화 된 선 프린지와 각 선 프린지의 특성추출이 이루어져 정상프린지와 비정상프린지로 구분되고 끊겨진 부분의 위치가 자동으로 검색되고 있는 것을 보여 준다.

또한 하위 프로세싱의 구속 위상 검출 모듈은 여러 가지의 위상 단차(phase step) - 3 bucket, 4 bucket, 또는 임의의 위상 단차 - 조건에 대하여 2π 로 모듈화된 위상 데이터 이미지를 산출하며 이는 차후 지역별 위상폴리의 기초 데이터로 이용된다. Fig.10 은 4 bucket 의 위상단차 이미지로부터 본 모듈을 적용하여 얻은 톱니모양의 구속 위상 데이터 이미지를 보여준다.

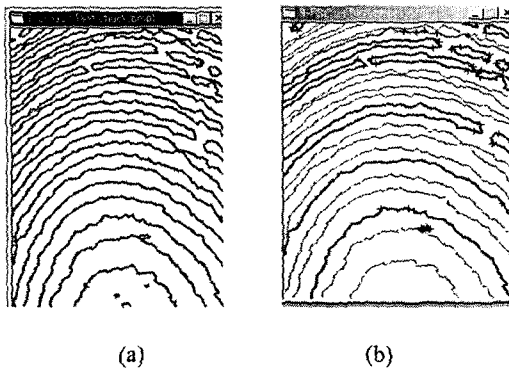


Fig. 9 (a) Chain code generation; (b) feature data extraction process

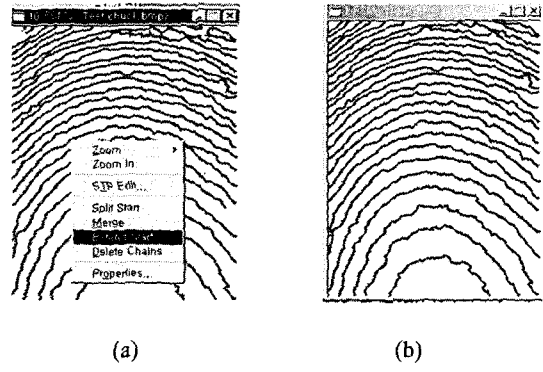


Fig. 11 (a) Interactive modification; (b) final fringe map

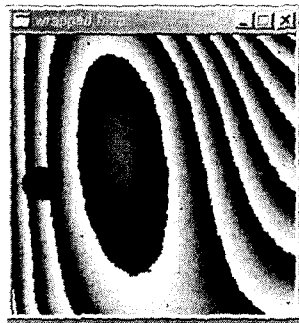


Fig. 10 Saw-tooth shape wrapped phase map

3.3 상위 프로세싱(High-level Processing)

상위 프로세싱에서는 간섭이미지 해석에 적용되는 일반적인 지식이나 시스템이 제공하는 고유한 해석 지식들은 룰(rule) 형태로 만들어져서 하위 프로세싱에서 해결하지 못한 노이즈 부분에 대하여 추가적인 프린지 수정 작업이 이루어진다. 상위프로세싱에는 3 가지 주요작업이 이루어지는데 이는 프린지 모양 구분 모듈, 프린지 모양 수정 모듈, 그리고 프린지 수차 매김 모듈이다. 비정상적인 프린지는 그 형태가 다양하여 서로 다른 특성을 나타내는데 프린지 모양 구분 모듈은 각 선 프린지의 특성을 해석하여 해당 이름을 할당하는데 이는 비정상 프린지를 수정하는 전략이 선정되는 것을 뜻한다. 프린지 모양 수정 모듈은 프린지의 왜곡된 부분을 찾아내어 제거하고 끊어진 프린지들을 서로 연결하며 이미지 경계면 근처에서 끊겨진 프린지들은 경계면까지 연장하여 정상 프린지로 만들어 준다. 대부분의 경우에는 자동으로 수정이 이루어지나 특수한 경우 즉 노이즈가 심해 자동적으로 수정이 이루어지지 않은 경우에는 사용자가 대화형으로 쉽게 수정을 할 수 있도록 여러 가지의 수정 기능을 마련하였다. 즉

프린지 연결(merging), 끊기(splitting), 제거(deleting), 확장(extending), 급격한 방향 변화 영역 수정(sudden-turning-point correction) 등을 마련하였다.

Fig. 11(a)는 자동 수정 작업 모듈을 실행한 후 처리가 안된 미진한 부분을 대화형 작업으로 처리하는 것을 보여주고 있고 Fig. 11(b)는 이와 같은 자동 또는 수동 작업을 거쳐 모든 프린지가 정상 프린지로 복원되어진 것을 보여주고 있다.

모든 프린지가 정상 프린지로 복구가 됐으면 프린지 수차(Fringe number ordering) 모듈에서 각 프린지에 프린지 수차 번호를 부여한다. 위상천이방법이나 푸리에 방법에서는 프린지 수차를 정할 필요가 없으나 본 시스템은 독특한 방법인 지역별 위상틀이 방법을 이용하기 때문에 프린지 수차 모듈을 적용할 필요가 있다. 이 모듈을 실행하면 각 프린지 수차가 자동적으로 정해지는데 이 프린지 수차는 한 프린지와 인접 프린지에 의해 나누어지는 영역들에 대한 지역의 수차(2π -multiple)도 함께 정해진다. 이 지역별 수차 데이터를 톱니형상 구속 위상 데이터(saw-tooth wrapped phase data)와 합하면 바로 우리가 원하는 실제의 위상 데이터가 되는데 이러한 방법을 지역별 위상틀이라고 한다. 이 방법은 기존의 방법들이 사용하는 수평적 노이즈 픽셀 검색 및 위상틀이 알고리즘과 달리 수직적인 데이터 합성의 기법을 사용하기 때문에 노이즈는 제자리에 고착되어 파급되지 않기 때문에 위상틀이의 실패할 확률이 매우 작아진다. 그러나 프린지 추적 방법에서는 프린지수차의 방향성을 알 수 없기 때문에 적어도 프린지 수차의 증가 방향은 사용자가 정해 주어야 한다. Fig.12(a)는 프린지 수차의 방향성을 정하는 대화창을 보여주며 Fig.12(b)는 각 프린지에 프린지 수차가 할당된 것을 보여 준다.

본 시스템이 사용하는 프린지 추적방법에서는 프린지의 양 사이드 즉 이전화된 프린지의 에지를 선 프린지로 이용하기 때문에 한 프린지당 2 개의 선 프린지가 생성되고 따라서 프린지 당 위상

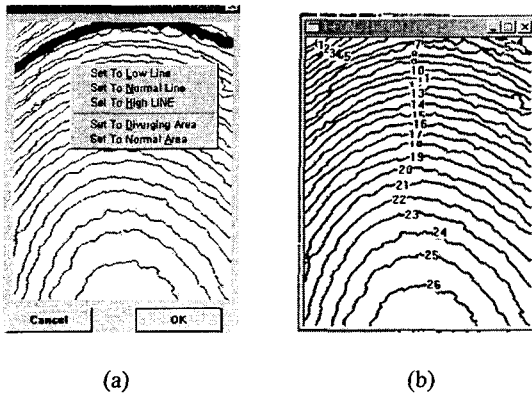


Fig. 12 (a) Interactive fringe order numbering; (b) fringe order numbered phase map

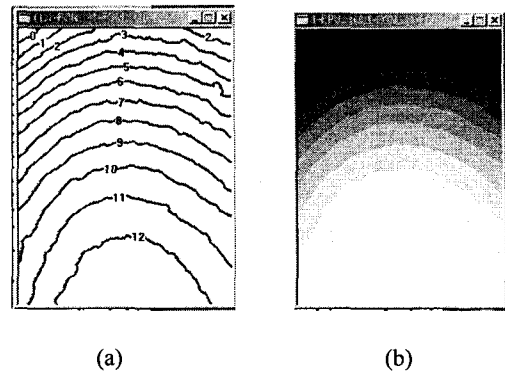


Fig. 13 (a) 2π difference fringe order numbering; (b) regional phase map

변화는 π 만큼만 된다. 위상천이 방법이나 푸리에 변환 방법에서의 자동 위상풀이를 위해서는 틱니형상의 구속 이미지에서 보이는 2π 점프선(2π jump line)을 선택하는 것이 필요한데 이는 프린지 추적방법에서 구해지는 2 개의 선 프린지 중의 하나는 버려야 하는데 이는 선 프린지들의 전후 좌우의 위상을 틱니형상의 구속 이미지상에서 비교하여 위상이 급격히 변화하는 선 프린지들만을 선택하고 그렇지 않은 선 프린지는 버리면 된다. 만약 프린지 추적방법에서도 사용자가 프린지가의 위상 변화를 위상천이 방법이나 푸리에 변환 방법에서와 같이 2π 로 하고 싶을 경우에는 대화창을 통하여 선프린지들을 하나씩 건너 뛰어 선택할 수 있다. Fig.13(a)는 프린지 추적방법에서 얻은 선프린지 맵에서 짝수번의 프린지만 선택하여 프린지간 위상 차를 2π 로 만든것을 보여주고 있고 Fig.13(b)는 지역별 위상차 (2π multiple)를 보여주고 있다.

모든 선 프린지에 대하여 수차가 매겨지면 각 프린지의 좌표 값과 수차 값은 파일로 저장되고 이것은 플로팅 프로그램에 보내져 3 차원 위상 맵으로 출력된다

IHS 시스템은 초기 이미지 입력으로부터 마지막 전 영역의 위상데이터를 출력하기까지의 전 해석 과정이 Fig.14 에서 보는 바와 같이 모니터 상에 저장되어 있어 점점이 가능하며 적절한 결과를 얻지 못하였을 경우 임의의 중간과정에서부터 다시 해석을 시작할 수 있어 처음부터 다시 시작하는 불편함을 줄일 수 있다. 필요한 경우 프로세스 편집기에서 편집한 해석 과정을 파일로 저장할 수 있으며 이제까지의 모든 해석 결과 즉 Fig. 14 에 들어 있는 모든 정보를 별도의 파일로 저장하여 차후 이와 유사한 간섭이미지를 해석할 경우 참고로 사용할 수 있다.

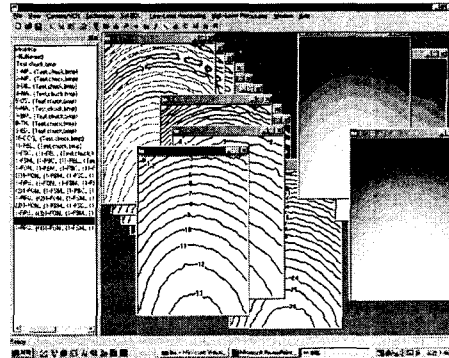


Fig. 14 Demonstration of all process results

4. 결론

노이즈가 많은 간섭 이미지를 자동 또는 대화형으로 해석할 수 있는 윈도우즈용 시스템을 개발하였다. 모든 해석 기능들은 메뉴나 아이콘으로 작동이 되어 사용자로 하여금 손쉽게 배우고 사용할 수 있게 되어 있으며 각각의 모듈들은 독립적인 모듈로 개발되어 시스템 확장이 용의하고 프로세스 편집기를 통하여 필요한 해석 모듈들을 손쉽게 해석 순서에 맞게 편집하고 집행할 수 있다. 시스템 화면에 있는 작업공간(workspace)을 통해 해석 진행 과정을 모니터링 할 수있으며 필요한 경우 임의의 중간과정에서부터 다른 해석을 시도해 볼 수도 있다. 또 다양한 대화형 수정작업 기능들이 제공되어 자동으로 해석이 안될 경우에도 중간에 포기하지 않고 가치있는 해석결과를 얻을 수 있다.

후 기

본 논문은 한국과학재단의 특정기초연구과제 (1999-2-304-001-3) 지원으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Kreis, T.M., 1996, *Holographic Interferometer: Principles and Methods*, Akademie Verlag, pp. 101~169.
- (2) Kreis, T.M., 1993, "Computer Aided Evaluation of Fringe Patterns," *Opt. and Lasers in Eng'g*, Vol. 19, pp. 221~240.
- (3) Robinson, D.W. and Reid, G., 1993, *Interferogram Analysis*, Institute of Physics Publishing, pp. 73~228.
- (4) Shneidermann, B., 1998, *Designing the User Interface*, 3rd edition, Addison Wesley, pp. 51~118.
- (5) Becker, F. and YU, Y., 1985, "Digital Fringe Reduction Techniques Applied to the Measurement of Three-Dimensional Transonic Flow Fields," *Opt. Eng.* Vol. 24, pp. 429~434.
- (6) Wyant, J., 1984, "Review of Phase Shifting Interferometry," in *Technical Digest*, OSA Spring Meeting, Washington DC.
- (7) Bone, D., Bachor, H., and Sandeman, R., 1986, "Fringe-Pattern Analysis Using a 2-D Fourier Transform," *Applied Optics*, Vol. 25, pp. 1653~1680.
- (8) Nazif, A. and Levine, M., 1984, "Low-Level Image Processing: an Expert System," *IEEE PAMI6*, pp. 555~577.
- (9) Joo, W. and Cha, S., 1995, "Automate Interferogram Analysis Based on Integrated Expert System," *Applied Optics*, Vol. 34, PP.7486~7496.
- (10) Judge, T. and Bryanston-cross, P., 1994, "A Review of Phase Unwrapping Techniques in Fringe Analysis," *Optics and Lasers in Eng.* Vol. 21, pp199~239.
- (11) Joo, W. and Cha, S., 1997, "Automated Regional Phase Unwrapping by an Integrated Expert System," *Proc. SPIE* Vol. 3172, PP. 211~225.
- (12) Joo, W., 1994, Automatic Fringe Analysis: An Expert System, *J.of KSPE*. Vol. 11, No. 3, pp175~183.