

ISBN 89-5884-674-7 98560



Time Variant Data를 위한 Transfer  
Function 생성 기법 기술 조사  
(Survey of Transfer Function Creation Techniques  
for Time Variant Data)

이 중 연 (Joong Youn Lee)

jylee@kisti.re.kr

Visualization Team, Supercomputing Center

한국과학기술정보연구원

Korea Institute of Science & Technology Information

---

---

## <제목 차례>

I. 머리말 .....	1
가. 개요 .....	1
나. 볼륨 렌더링이란? .....	1
다. Time Variant Data .....	2
II. Transfer Function .....	3
가. 개요 .....	3
나. Multi-Dimensional Transfer Function .....	4
III. Feature .....	6
가. Feature Tracking .....	6
IV. Time Variant 데이터를 위한 Transfer Function .....	8
가. Contour Spectrum .....	9
나. TF for Time-Varying Volume Data .....	10
다. Semi-Automatic Generation of TF .....	19
V. 결론 .....	23
VI. 참고문헌 .....	24

## <표 차례>

표 III-1. Feature 변화의 종류 .....	7
표 IV-1. 실험에 사용된 Time Varying 데이터들 .....	14
표 IV-2. 각 데이터와 Transfer Function 생성 방법에 따른 영상 품질 정도 .....	15

## <그림 차례>

그림 II-1. 복셀 값 변화도와 1차, 2차 미분 값 변화도 .....	4
그림 II-2. 2D Transfer Function과 3D Transfer Function의 비교 .....	5
그림 II-3. 기온과 습도를 이용한 다변수 Transfer Function을 이용한 가시화 예 .....	5
그림 III-1. 와동의 예 .....	6
그림 III-2. Feature 변화의 종류 .....	7
그림 IV-1. 1D Contour Spectrum .....	9
그림 IV-2. 2D Contour Spectrum .....	10
그림 IV-3. COV 계산 알고리즘 .....	12
그림 IV-4. COV 계산의 개괄적인 도식 .....	13
그림 IV-5. Argon bubble 데이터의 렌더링 결과 .....	16
그림 IV-6. Turbulent Jet 데이터의 렌더링 결과 .....	17
그림 IV-7. Vortex 데이터의 렌더링 결과 .....	18
그림 IV-8. QG turbulence 데이터의 렌더링 결과 .....	18
그림 IV-9. 신경망을 이용한 자동 Transfer Function 생성의 전체 프로세스 .....	20
그림 IV-10. Intelligent Adaptive Transfer Function .....	21
그림 IV-11. Cumulative Histogram .....	21
그림 IV-12. Argon 데이터에 대한 IATF 적용 결과 .....	22
그림 IV-13. DNS turbulent combustion 데이터의 IATF 적용 결과 .....	22

## <수식 차례>

수식 IV-1. COV 계산식 .....	12
------------------------	----

---

# I. 머리말

## 가. 개요

Transfer Function은 볼륨 데이터에서 사용자가 가시화하기를 원하는 영역을 분리해내는 역할을 하는 Function으로, 볼륨 가시화에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 볼륨 가시화 연구에서 Transfer Function에 대한 기존의 연구 내용은 대부분 Scalar 데이터에서 보다 세밀한 물질의 분류를 가능하게 하는 것으로, 이는 의료영상(medical image)과 같은 영역에서는 적합하나, CFD나 기상분야에서 필요로 하는 Time Variant 데이터의 가시화에는 적합하지 못하다. 본 기술문서에서는 기존의 Time Variant 데이터를 위한 Transfer Function의 생성에 대한 연구들을 조사하였고, 이를 바탕으로 향후 어떠한 연구가 추가적으로 필요할지 논하도록 한다.

## 나. 볼륨 렌더링이란?

볼륨 렌더링(volume rendering)이란 볼륨 데이터라 불리는 3차원의 불연속적으로 샘플된 데이터를 인간이 쉽게 인지할 수 있는 2D 이미지로 투영해서 가시화하는 기법을 말한다. 물론, 여러 개의 2차원 슬라이스로 변환한 뒤 슬라이스별로 가시화하는 방법도 있겠지만, 이러한 경우에는 각 슬라이스의 상관관계를 파악하기 힘들다는 단점이 존재한다. 볼륨 데이터에는 여러 종류가 있는데, CT나 MRI 촬영을 통해 얻어진 인체 (또는 다른 종류의) 데이터가 대표적이고 실제 측정이나 컴퓨터를 이용한 계산을 통해 얻어진 유체역학, 지진, 기상, 해양 데이터들도 과학 기술 전반에 걸쳐 널리 사용되고 있다. 볼륨 데이터를 가시화하기 위해서는 매우 큰 컴퓨팅 능력이 필요하기 때문에 지금까지는 슈퍼컴퓨터나 고성능 서버 또는 전용 그래픽스 워크스테이션을 이용해서 가시화해왔다. 그러나 2000년대에 들어서면서 NVIDIA GeForce 시리즈나 ATI Radeon 시리즈 등의 일반 PC용 그래픽스 카드들의 성능이 급격히 발전하면서 범용 PC에서 볼륨 렌더링을 하려는 시도가 계속되고 있다. 일반적으로 PC 그래픽스 하드웨어를 이용한 볼륨 렌더링은 3차원 텍스처 맵핑(3D texture mapping)을 이용하여 많이 구현되는데, 지금까지 보다 빨리 그리고 보다 양질의 영상을 얻기 위한 많은 노력이 있어왔다. 특히, PC용 그

---

래픽스 하드웨어에서 꼭지점 및 프래그먼트 프로그래밍(vertex / fragment Programming)이 가능해지면서 과거에는 고가의 그래픽스 워크스테이션 또는 볼륨 렌더링 전용 하드웨어에서나 가능하던 실시간 볼륨 렌더링이 일반적인 PC에서도 가능해지게 되었다.

## 다. Time Variant Data

많은 과학 및 공학 분야에서는 어떤 현상의 근원을 이루는 물리적 또는 화학적 현상을 근본적으로 이해하기 위해 정적인 현상에 그치지 않고, 시간에 따라 변화하는 동적 현상에 대한 심도있는 연구에 관심이 많다. 이러한 연구 분야는 태풍을 비롯한 악기상 시뮬레이션, 항공기나 자동차등의 난류 해석, 지진 파동의 확산, 은하계의 합체 등 다양한데, 이렇게 시간에 따라서 계속 변화하는 동적인 데이터를 Time Variant 데이터라고 한다. 최근의 컴퓨팅 하드웨어의 비약적인 성장으로 보다 거대하고 정밀한 해상도의 Time Variant 데이터에 대한 시뮬레이션 및 해석의 요구가 늘어나고 있다. 그러나 고해상도의 거대 Time Variant 데이터를 가시화하는 기술은 매우 복잡해서 아직까지 이를 실시간으로 가시화하기에는 기술적으로 미흡한 상황이다. 일반적인 CFD 분야의 Time Variant 데이터는 수백에서 수천 시간의 스텝으로 구성되어 있으며 각 복셀에는 여러 개의 변수들이 할당되어 데이터의 전체 크기는 테라바이트를 쉽게 넘어가, 실시간으로 처리하기에 곤란할 정도로 거대해졌다.

---

## II. Transfer Function

### 가. 개요

Transfer Function이란 볼륨 데이터에서 사용자가 가시화하기를 원하는 영역을 분리해내는 역할을 하는 Function으로, 볼륨 가시화에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 볼륨 데이터는 각 복셀마다 밀도, 온도, 기압, 속도 등 다양한 의미를 가지는 변수들을 포함하고 있다. 볼륨 데이터의 전체 영역에 걸쳐 이러한 변수들이 조밀하게 밀집해 있고, 이 중 많은 수의 변수들이 특별한 의미를 가지고 있지 못하기 때문에, 전체 복셀들 중 유의미한 복셀을 찾아서 해당하는 변수를 사람이 쉽게 인지하도록 가시화하는 것은 어려운 문제이다. 예를 들어, 강수량이 100ml를 초과하는 영역을 가시화하고자 할 때, 강수량이 100ml 미만인 지역은 이 시나리오에서는 특별한 의미를 가지지 못하기 때문에 가시화할 때 표시하지 않아야 한다. 이와 같이 복셀의 여러 변수들 중 유의미한 부분을 뽑아서 사람이 쉽게 정보를 인지할 수 있도록 색깔 및 투명도로 전이(transfer)하는 함수(function)를 Transfer Function이라고 하며, 이 Transfer Function을 어떻게 생성했느냐가 데이터의 관심 영역을 충분히 잘 가시화했는지 여부가 결정될 만큼 볼륨 가시화에서 매우 중요한 위치를 차지한다. 좋은 Transfer Function을 생성하는 것은 매우 어렵고 지루한 작업이다. 여기에는 여러 가지 이유가 있는데, Transfer Function 도메인에서 관심 영역을 유일하게 정의하는 것은 매우 어렵다는 사실이 첫번째 이유이다. 관심 영역이 공간 도메인(spatial domain)에서 쉽게 정의된다 하더라도 Transfer Function 도메인에서 feature가 되는 관심영역을 이것과 같은 데이터 범위를 가지는 관심이 없는 영역과 분리시키기는 쉽지 않다. 두번째 이유는 Transfer Function은 매우 다양한 자유도(degrees of freedom)를 가질 수 있다는 사실이다. 꺾이는 직선 모양의 간단한 1D Transfer Function 조차도 2자유도를 필요로 한다. 세 번째 이유는 일반적으로 대부분의 유저 인터페이스에서는 사용자가 Transfer Function을 생성할 때, 쉽게 관심 영역을 설정하고 색깔 및 투명도를 설정할 수 있도록 하는 데이터 자체를 바탕으로 한 정보를 제공하지 않는다는 것이다. 이러한 정보가 없으면 사용자는 여러 번에 걸쳐 일단 한번 Transfer Function을 생성해보고 문제가 있으면 이를 지속적으로 개선하는 방법으로 Transfer Function을 제작해야 한다. 이러한 Transfer Function 제작 방법은 사용자들을 쉽게 좌절하게 만드는데, Transfer Funct



ion을 약간만 수정해도 종종 완전히 다른 렌더링 결과가 나오기 때문에 Transfer Function을 점진적으로 개선한다는 것이 쉽지 않은 작업이기 때문이다.

## 나. Multi-Dimensional Transfer Function

하나의 복셀 값만으로 1D Transfer Function을 생성해서 관심영역을 비관심영역과 분리하는 것은 매우 어려운 일이다. 이러한 이유로 관심영역과 비관심영역을 쉽게 분리시키는 Transfer Function을 생성하는 연구가 여러 연구자들에 의해 행해지고 있는데, 그 대표적인 방법으로 2D 또는 3D의 고차원 Transfer Function을 생성하는 방법이 있다. 즉, 하나의 복셀 값만으로 색깔 및 투명도를 결정하는 것이 아니라, 복셀 값을 1차 미분한 그라디언트(gradient) 값이나, 2차 미분한 값, 또는 다른 복셀 값들의 조합으로 색깔 및 투명도를 결정하는 것이다. 이렇게 여러 값들을 이용해서 Transfer Function을 생성하면 데이터의 구조를 보다 세분할 수 있어 비교적 용이하게 관심영역과 비관심영역을 분리해서 가시화할 수 있다. 즉, 이 값들이 다차원 Transfer Function의 각 축이 되는 것이다. 특히 1차 미분한 그라디언트 값이나 2차 미분한 값을 Transfer Function의 도메인으로 사용하면 복셀 값이 급격히 변하는 물질의 경계부분이나 그다지 변함이 없는 균일(homogeneous) 부분을 쉽게 찾을 수 있다. 그러나 Transfer Function의 차원을 높이면 높일수록 Transfer Function의 자유도가 높아져서 점진적으로 개선하는 방식으로 Transfer Function을 생성할 경우, 생성 시간이 기하급수적으로 늘어난다는 단점이 있다.

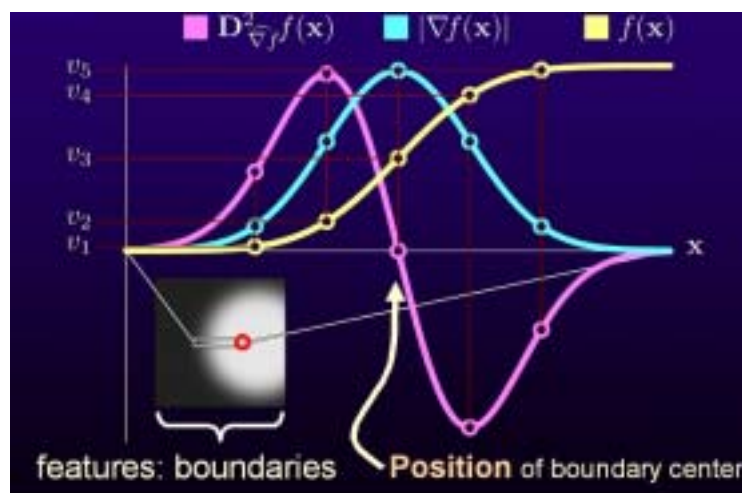


그림 II-1. 복셀 값 변화도와 1차, 2차 미분 값 변화도

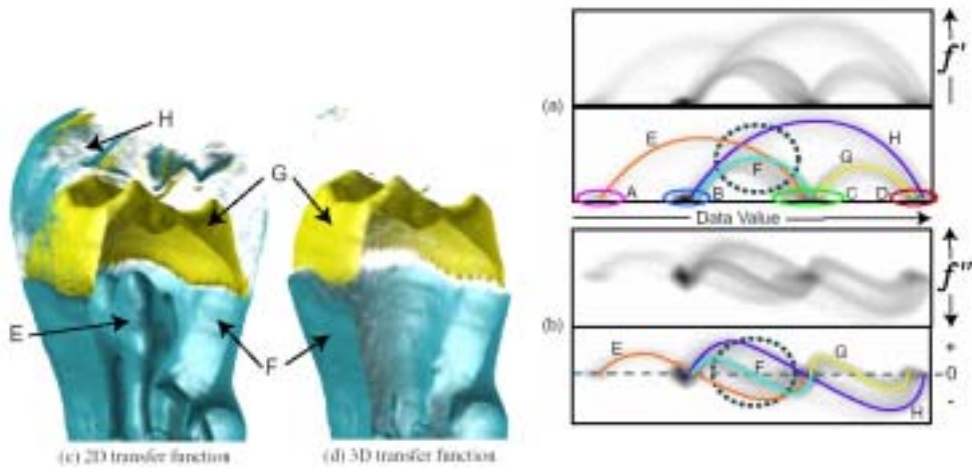


그림 II-2. 2D Transfer Function과 3D Transfer Function의 비교

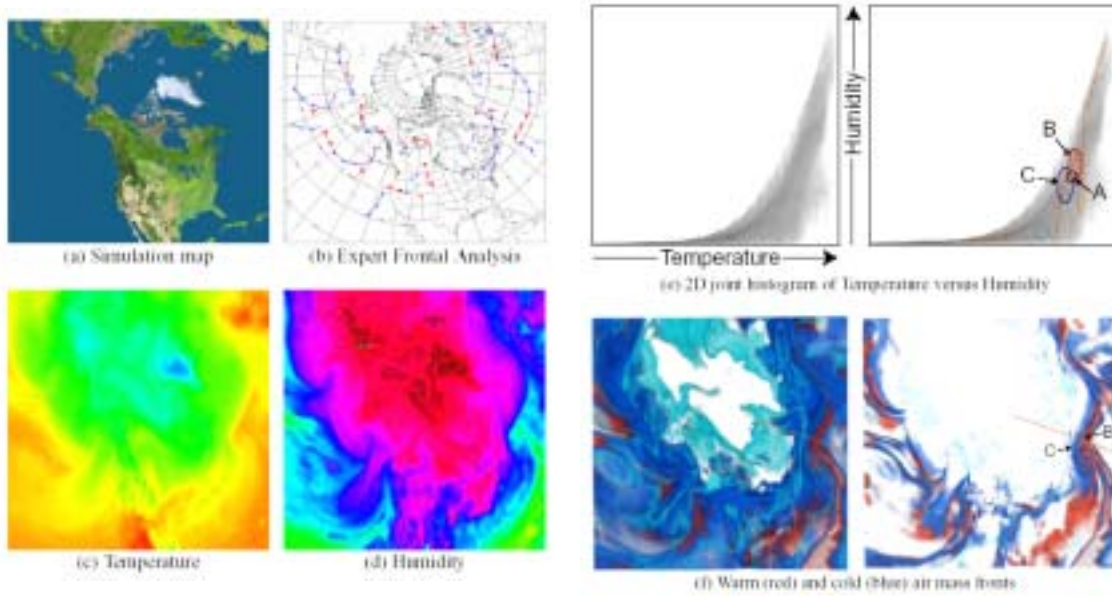


그림 II-3. 기온과 습도를 이용한 다변수 Transfer Function을 이용한 가시화 예

---

### III. Feature

Feature(특징)란 광의적으로 어떤 과학이나 공학 문제에서 특별히 관심대상이 되는 현상이나 조직, 물체들을 의미한다. 보다 지엽적으로 볼륨 데이터에 국한해서 이야기를 하면 어떤 정해진 값을 가지는 복셀과 그 복셀 주위에 인접해 있고 정해진 값보다 약간 크거나 작은, 임계값을 넘지 않는 복셀들의 집합이라고 할 수 있다. 유체역학 분야의 경우 충격파(shock wave)와 와동(vortex)를 대표적인 예로 들 수 있다. 충격파는 압력(pressure), 밀도(density), 속도(velocity)등의 물리학적 량들의 불연속성으로 특징지어진다. 따라서 영상 처리 분야의 외곽선 추출 알고리즘과 비슷한 알고리즘으로도 충분히 추출할 수 있다. 와동은 vorticity 값이 높은 부분을 뜻한다. vorticity는 속도(velocity)의 컬(curl)을 계산하면 되는데,  $\nabla \times v$ 로 계산된다.

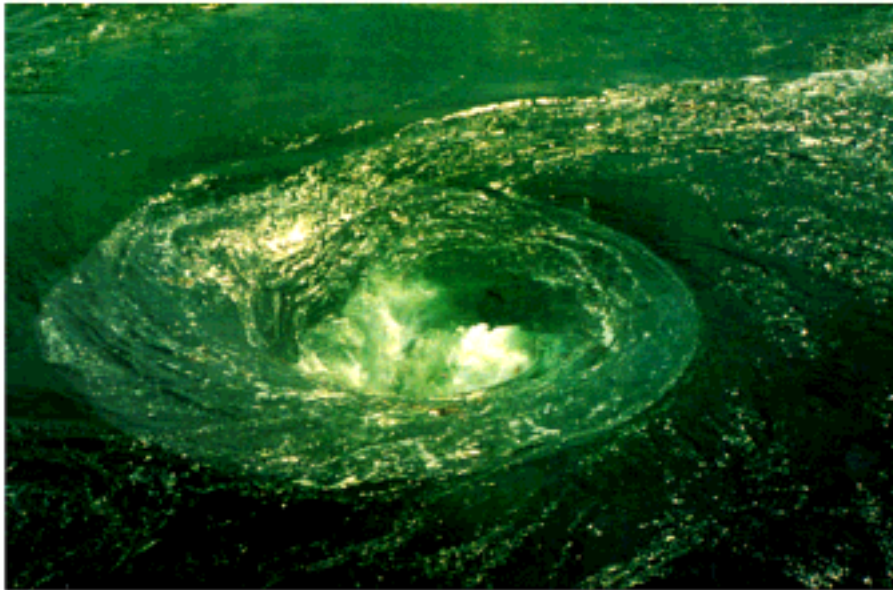


그림 III-1. 와동의 예

#### 가. Feature Tracking

Time Variant 볼륨 데이터에서 Feature는 시간이 흐름에 따라 계속 변화한다. 위치가 변화하기도 하고 새로운 Feature가 생기기도 하며 있던 Feature가 사라지기도 한다. 이렇게 계속 변화하는 Feature들을 추적하면서 전체 Time

Variant 데이터가 어떻게 변화하는지 파악하는 것을 Feature Tracking이라 한다. Feature가 변화하는 모양을 분류하면 다음과 같이 총 5가지로 분류된다.

종류	의미
Continuation(계속)	Feature가 다음 프레임에서도 계속 존재하는 경우. 위치, 방향, 또는 면적은 변화할 수 있음
Creation(생성)	이전 프레임에는 없던 Feature가 새로 나타나는 경우
Dissipation(소실)	이전 프레임에는 존재하던 Feature가 사라지는 경우
Bifurcation(분리)	하나의 Feature가 둘 또는 여러 개의 Feature로 나뉘는 경우
Amalgamation(합체)	둘 또는 여러 개의 Feature가 하나로 합치는 경우

표 III-1. Feature 변화의 종류

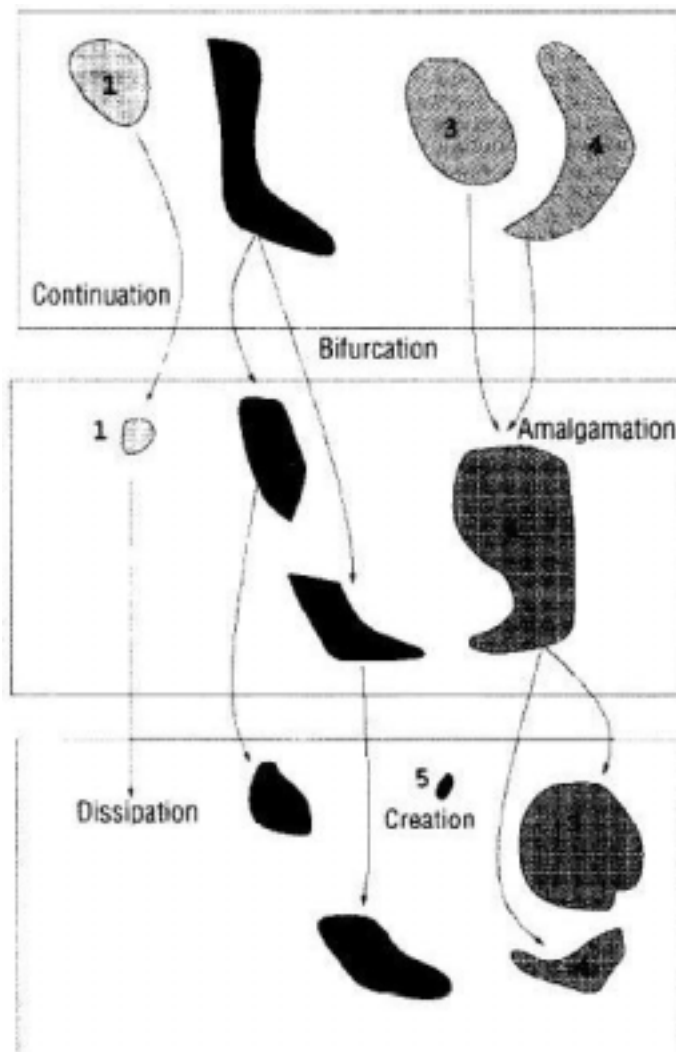


그림 III-2. Feature 변화의 종류

---

## IV. Time Variant 데이터를 위한 Transfer Function

시간이 지나도 변화가 없는 정적 데이터의 경우 Transfer Function도 정적으로 존재하면 되기 때문에 상대적으로 생성하기가 용이하다. 그러나 Time Variant Data의 경우에는 시간의 흐름에 따라 데이터가 계속 변화하기 때문에 Transfer Function 역시 계속 바뀌어야 한다는 점에서 정적 데이터의 Transfer Function을 생성하는 것에 비해 문제가 매우 복잡해진다. 물론, 매 프레임마다 별도의 Transfer Function을 생성하는 것이 시간에 따라 계속 변화하는 Time Variant Data의 Feature(특징)를 가장 정확히 뽑아내는 방법일 것은 자명하다. 그러나 몇백에서 몇천 프레임까지 있는 거대한 Time Variant Data에서 매 프레임마다 Transfer Function을 생성하는 것은 그다지 효율적이지 못하다. 더욱이 이 작업을 사용자가 직접 점진적인 개선 방법으로 행할 경우엔 더욱 현실적이지 못하다고 할 것이다. 또한, 단 하나의 정적인(static) Transfer Function으로 Time Variant Data를 가시화할 경우도 생각해보자. 이 경우에는 일단 Transfer Function을 어떻게 만들어야 하는가 하는 문제가 생긴다. 즉, 전체 프레임들 중 가장 대표적인 한 프레임을 선택해서 그 프레임의 특징을 가장 잘 보여주는 Transfer Function을 생성할 것인지, 아니면 전체 프레임 중 상세한 부분은 놓치더라도 전반적인 성질을 가장 잘 보여줄 수 있는 Transfer Function을 생성할 것인지 결정해야 한다. 물론 어떠한 방법을 사용하더라도 대부분의 Time Variant Data에서는 정적인 Transfer Function을 사용해서 가시화할 경우 그 특징을 제대로 표현하지 못할 것은 당연하다. 이러한 이유로 기존의 많은 연구자들은 전체 Time Variant Data를 효과적으로 가시화하기 위해서는 최소한 몇개의 Transfer Function을 생성해야 하는지, 또는 어떠한 방법을 사용해야 가장 잘 표현할 수 있는지 등을 연구했다. 또한, 사람이 일일이 Transfer Function을 생성하지 않고 AI 등을 이용해서 컴퓨터가 자동적으로 적절한 Transfer Function을 생성하도록 하는 연구도 함께 진행되고 있다. 이 챕터에서는 대표적인 몇 가지 방법들에 대해 알아보고, 그 장단점에 대해 논하기로 한다.

---

## 가. Contour Spectrum

Contour spectrum이란 Bajaj, Pascucci, Schikore이 IEEE Visualization1997에서 발표한 iso-contour를 가시화하기 위한 유저 인터페이스 컴포넌트이다. Bajaj등은 볼륨 데이터에서 등가면 또는 등고선을 추출 할 때, 사용자 상호작용 (user interaction) 및 수량화(quantification) 기능을 개선시키기 위해 이 Contour spectrum을 제안했다. 보다 상세하게 설명하면 Contour spectrum이란 원시 데이터(raw data)의 여러 값들을 이용해서 계산한 여러 속성 등으로 구성되는 신호(signature)이다. 여기서 속성이란 surface area, volume and gradient integral of contour 등인데, 계산된 속성들은 보통 그림과 같은 1D 플롯들로 표현된다.

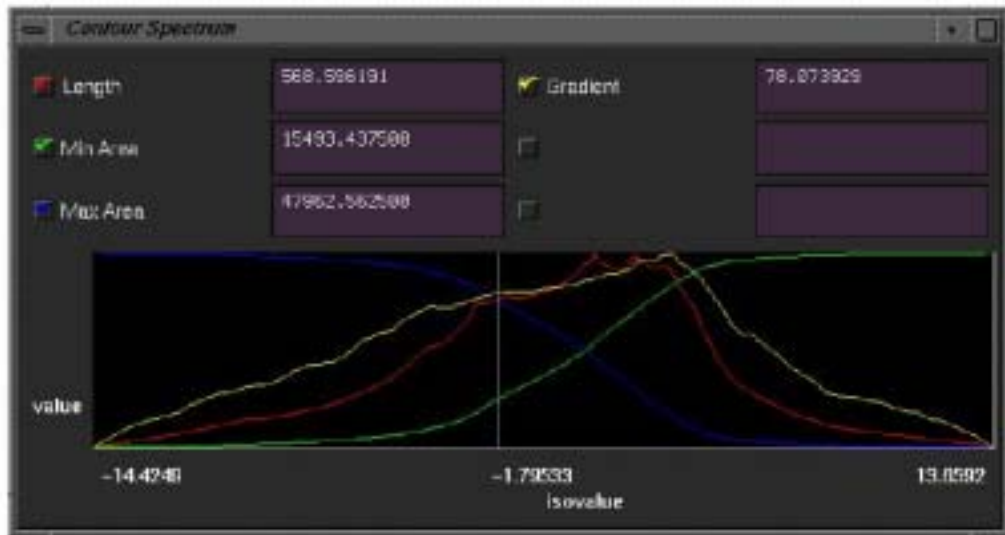


그림 IV-1. 1D Contour Spectrum

Time variant 데이터의 경우 각 속성들은 시간 흐름에 따라 계산되어 그림과 같은 2D 인터페이스로 표현된다. 이를 통해 사용자는 전체 Time Variant 데이터의 변화를 한눈에 볼 수 있다.



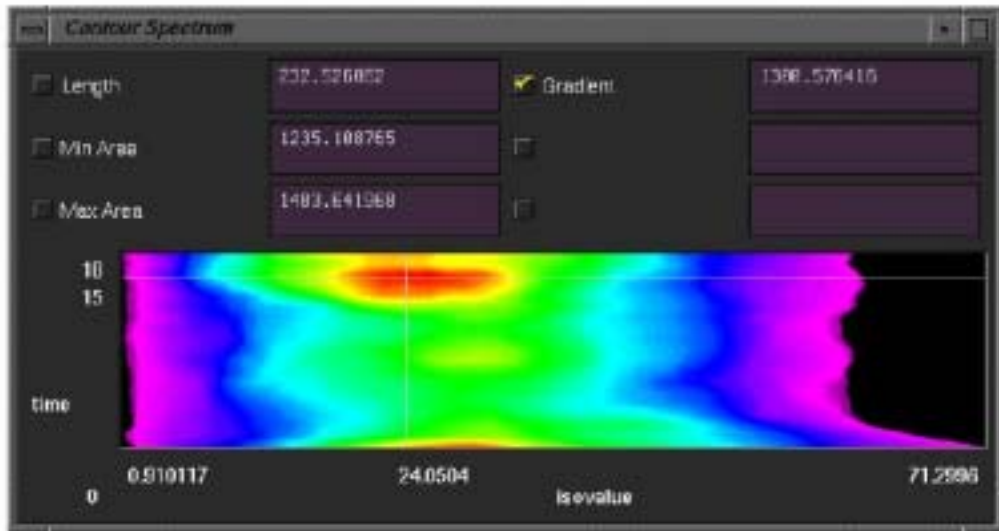


그림 IV-2. 2D Contour Spectrum

## 나. TF for Time-Varying Volume Data

Jankun-Kelly와 Ma는 Volume Graphics2001에서 Time-Varying 볼륨 데이터를 위한 Transfer Function을 생성하는 것에 대한 연구 결과를 발표했다. Jankun-Kelly등은 하나의 Transfer Function 만으로 시간에 따라 변화하는 Time-Varying 데이터의 가장 중요한 정보들을 가시화할 수 있는지 그리고 불가능하다면 최소 몇 개의 Transfer Function을 사용해야 이것이 가능할지에 대한 연구를 했다. 또한 Time-Varying 데이터의 여러 부분에 대해 시간에 따른 변화의 유형을 분류하고 각 유형에 따른 Transfer Function 생성 방법에 대해서도 연구했다.

그들은 시간에 따른 Time-Varying 데이터의 변화 유형을 세 가지로 분류했는데, 이는 다음과 같다.

1. Regular : 시간에 따라 천천히 변화
2. Periodic : 어떤 path를 따라가며 변화
3. Random/Hotspot : 불규칙적으로 변화

하나의 데이터에 이 세 가지의 유형이 다 존재할 수도 있고 단 하나만 존재

---

할 수도 있다. 다만, 좋은 Transfer Function은 이 세 가지 유형의 변화를 모두 다 가지화할 수 있어야 한다. 물론, 가장 좋은 경우는 Time-Varying 데이터의 각 프레임별로 하나의 Transfer Function을 생성하는 것이다. 그러나 Jankun-Kelly와 Ma는 최소한의 Transfer Function을 사용하기를 원했다. 이를 위해 그들은 Time-Varying 데이터의 각 프레임별로 하나씩의 Transfer Function을 생성한 후, 이를 하나로 줄이는 방법으로 세 가지 유형을 모두 가지화할 수 있는 Transfer Function을 구하고자 했다. 이러한 Transfer Function을 생성하는 방법은 크게 두 가지로 나뉜다.

1. The summary-function based : 각 프레임별 Transfer Function들로 부터 하나의 Transfer Function을 만드는 방법
2. The summary-volume based : 각 프레임들을 대표하는 하나의 볼륨 데이터를 생성한 뒤 이에 최적화된 Transfer Function을 만드는 방법

우선 첫 번째 방법인 The summary-function based 방법은 다음과 같은 4가지 방법을 통해 Transfer Function을 생성하도록 한다.

1. Single Representative : 임의의 하나의 프레임에서 사용된 Transfer Function을 모든 프레임에 사용
2. Average : 모든 Transfer Function들의 각 픽셀별로 평균값을 냄
3. Union : Maximum opacity : 모든 Transfer Function들의 각 픽셀별 최대값을 사용. 짧은 시간에 걸쳐서만 나타난 특징들은 평균을 내버리면 모두 사라져 버리기 때문에 Union을 추가했음
4. Coherency : Transfer Function의 COV(Coefficient of variation)을 사용

여기서, COV란 각 값들의 표준편차를 평균으로 나눈 값을 말하는데, 표준편차를 정규화하는 효과를 가진다. COV는 다음의 식과 같이 계산된다.



$$c_v = \frac{\sigma_v}{\bar{o}_v}$$

where

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_t (o_{v,t} - \bar{o}_v)^2},$$

$$\bar{o}_v = \frac{1}{n} \sum_t o_{v,t},$$

수식 IV-1. COV 계산식

COV가 작다는 것은 그 시간동안 전체적인 Transfer Function 값의 변화가 적었다는 것을 의미한다. 이 방법에서는 COV값을 계산해서 특정 값보다 작은 COV를 가지는 영역, 즉 Transfer Function 값의 변화가 적은 영역의 값들을 평균해서 Transfer Function을 생성한다. 간략한 알고리즘은 다음과 같다.

1. 전체 타임프레임에 걸쳐서 COV를 계산한다.
2. COV와 특정값(threshold)를 비교한다.
  - a. 만약 COV가 특정값보다 작으면 그 영역의 Transfer Function 값들을 평균내서 새로운 Transfer Function을 생성한다.
  - b. 만약 COV가 특정값보다 크면 타임프레임을 2로 나누어서 각 타임프레임에 대한 COV를 계산한다.
3. 두 COV값 중 작은 쪽의 영역에 대해 1.부터 다시 시작한다.

전체적인 알고리즘은 그림 IV-3과 같다.

```
def findOpacity( start, end, threshold ):
  if start == end:
    return opacity[start], 0
  mean = the mean opacity in the range [start,end]
  std = the std. deviation in the range [start,end]
  cov = std / mean
  if cov <= threshold:
    return mean, cov
  else:
    mean1, cov1 =
      findOpacity( start, (start+end)/2, threshold )
    mean2, cov2 =
      findOpacity( (start+end)/2+1, end, threshold )
    if cov1 < cov2:
      return mean1, cov1
    else:
      return mean2, cov2
```

그림 IV-3. COV 계산 알고리즘

---

이를 도식화하면 아래와 같다.

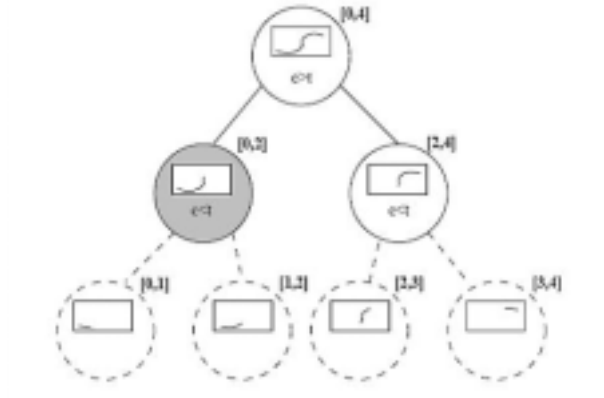


그림 IV-4. COV 계산의 개괄적인 도식

두 번째 방법인 The summary-volume based 방법은 다음과 같은 2가지 방법을 통해 Transfer Function을 생성하도록 한다.

1. Average : 각 볼륨 데이터값들을 평균냄
2. Coherency : 볼륨 데이터의 COV를 사용. 전반적인 알고리즘은 summary-function based 방법의 Coherency와 같으나 Transfer Function 값의 COV 대신 볼륨 데이터의 COV를 사용

Summary-volume 방법은 summary-function 방법에 비해 데이터의 크기가 크기 때문에 속도가 훨씬 오래 걸린다. 물론 전처리 방식을 사용하면 보다 빨라질 여지는 있다.

이 논문에서는 표 IV-1과 같은 4가지 종류의 데이터를 실험에 사용했다.

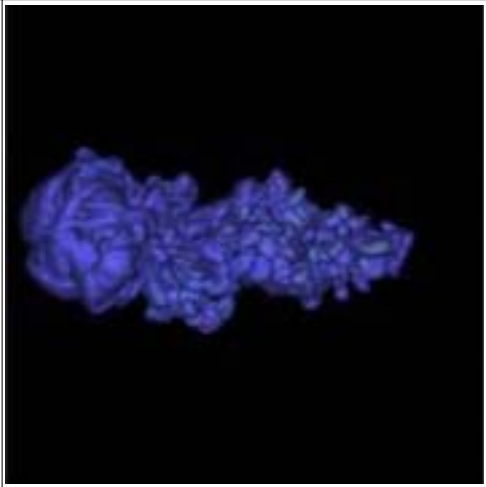
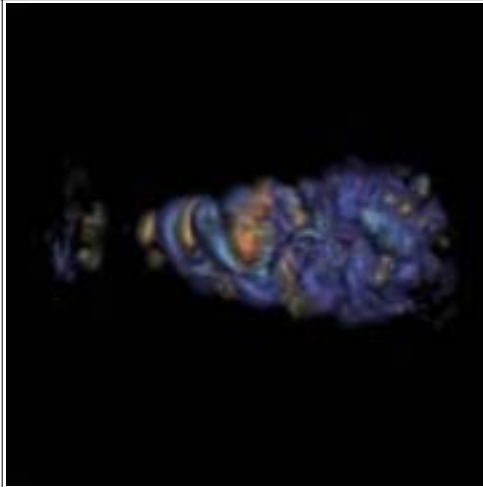

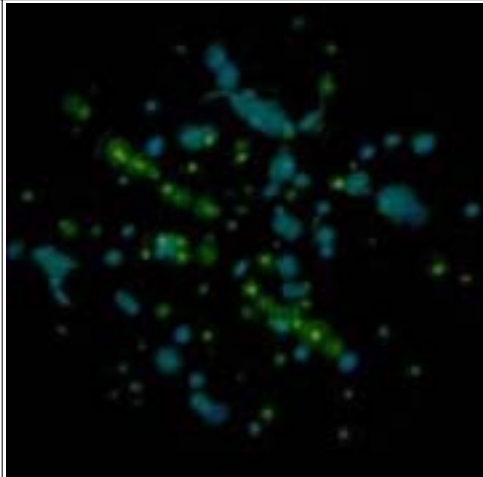
데이터	The argon bubble data set	The turbulent jet data set
정보	640 X 256 X 256, 90 프레임	104 X 129 X 129, 150 프레임
그림		
데이터	The vortex data set	The decaying quasi-geostrophic(QG) turbulence simulation data set
정보	128 X 128 X 128, 100 프레임	256 X 256 X 256, 935 프레임
그림		

표 IV-1. 실험에 사용된 Time Varying 데이터들

실험 결과 summary-function 방법이 summary-volume 방법보다 더 원본 영상에 근접한 영상을 만들었다. summary-function 방법의 4가지 방법들의 영상품질 순은 다음과 같고, 각 데이터에 대한 각 방법의 영상 품질을 표 IV-2에서 볼 수 있다.

1. Single Representative
2. Coherency

---

### 3. Average

### 4. Union

Data Set	Summary-Function Methods				Summary-Volume Methods	
	Single Rep.	Average	Union	Cohere 10%	Average	Cohere 10%
argon	$2.6 \pm 7.9$	$4.8 \pm 12.9$	$16.3 \pm 37.3$	$3.7 \pm 12.5$	$11.8 \pm 33.3$	$7.5 \pm 19.8$
jet	$1.3 \pm 3.8$	$1.5 \pm 4.1$	$4.4 \pm 11.0$	$1.6 \pm 4.2$	$16.2 \pm 23.7$	$7.8 \pm 16.1$
vortex	$22.4 \pm 27.9$	$30.9 \pm 36.6$	$26.1 \pm 37.0$	$26.0 \pm 37.8$	$32.6 \pm 40.8$	$23.7 \pm 30.3$
QG turbulence	$3.3 \pm 8.4$	$11.7 \pm 27.9$	$4.6 \pm 11.3$	$6.4 \pm 17.2$	$80.0 \pm 54.5$	$6.5 \pm 16.6$

표 IV-2. 각 데이터와 Transfer Function 생성 방법에 따른 영상 품질 정도

vortex 데이터의 경우엔 단 하나의 Transfer Function을 사용하면 어떠한 방법으로도 만족스러운 영상을 만들어내지 못했다. 따라서 위의 Coherency 방법을 조금 수정해서 여러 개의 Transfer Function을 만들었다. 이 경우, 최소한의 Transfer Function만을 만들도록 했다. 수정된 방법은 다음과 같다. 특정값보다 작은 COV가 나올 때까지 시간 프레임을 계속 나누면서 COV를 계산한다. 특정값보다 작은 COV가 나오면 다시 아직 특정값보다 작지 않은 COV의 영역으로 돌아가서 다시 모든 영역의 COV가 특정값보다 작을 때까지 계속 계산한다. 이렇게 하면 Transfer Function의 각 시간 프레임들이 그 값이 크게 변하지 않는 영역들로 나뉘게 된다. 각 영역별로 Transfer Function의 값을 평균해서 Transfer Function을 생성하면 최소한의 Transfer Function으로 좋은 품질의 가시화가 가능해진다.

---

각 방법의 결과 영상은 다음과 같다.

**1. The argon bubble data set**

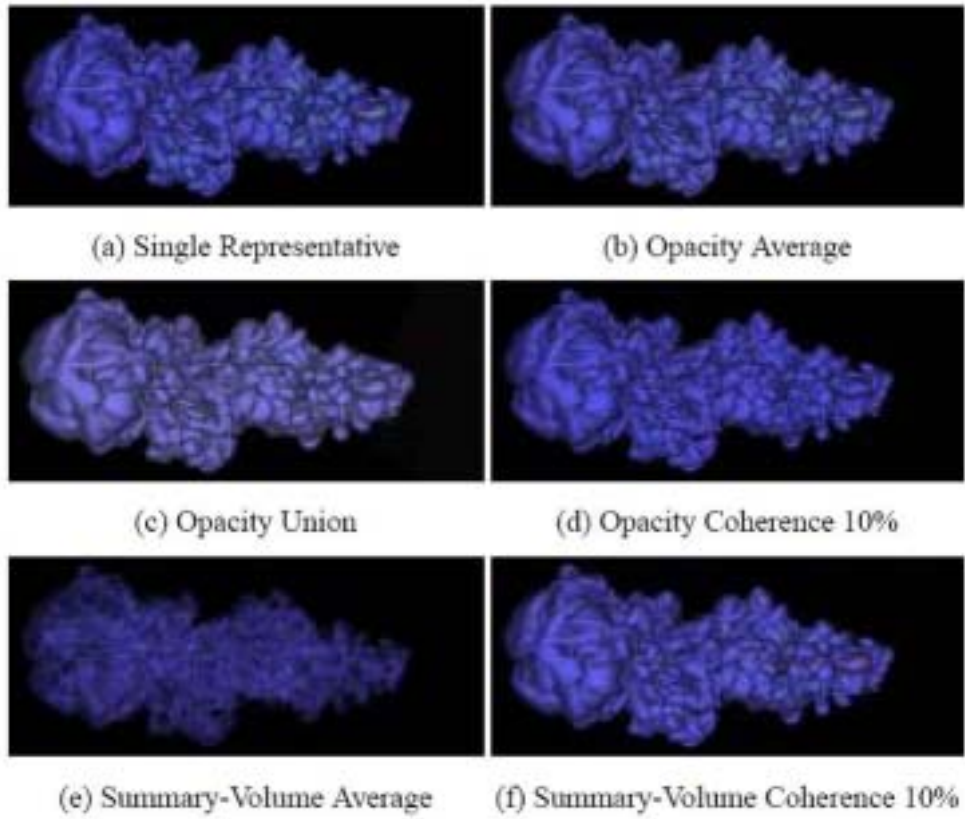


그림 IV-5. Argon bubble 데이터의 렌더링 결과

---

## 2. The turbulent jet data set

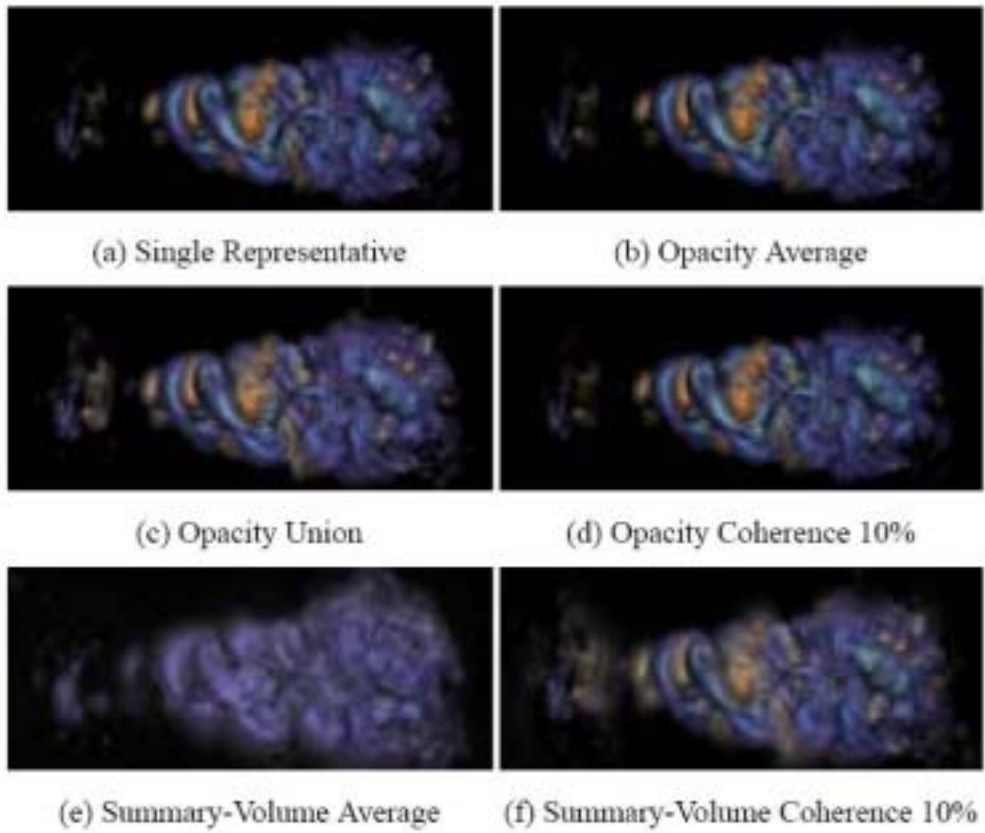


그림 IV-6. Turbulent Jet 데이터의 렌더링 결과

---

### 3. The vortex data set

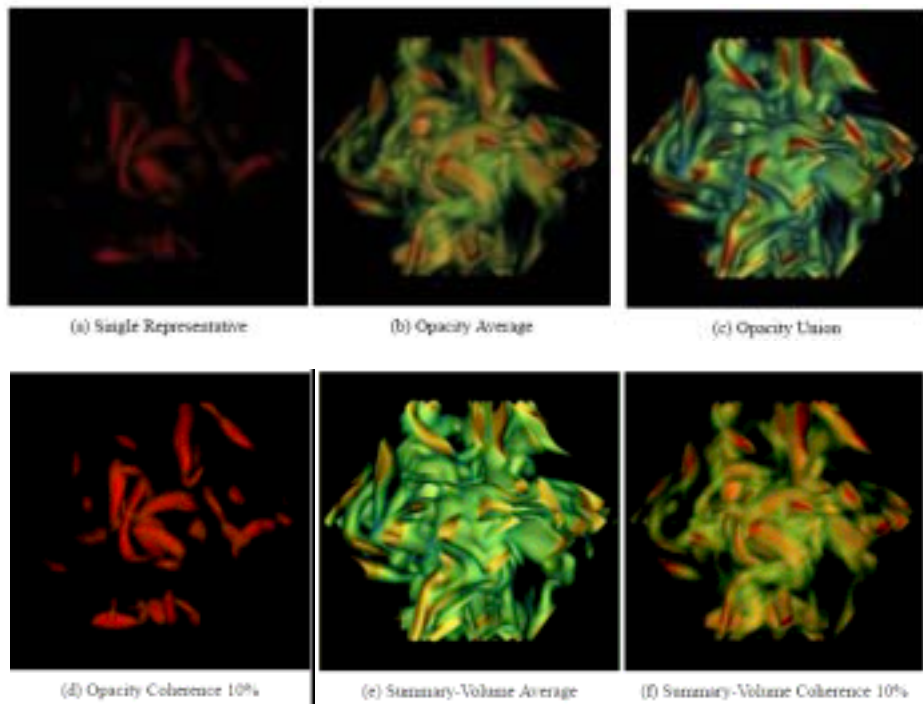


그림 IV-7. Vortex 데이터의 렌더링 결과

### 4. The decaying quasi-geostrophic(QG) turbulence simulation data set

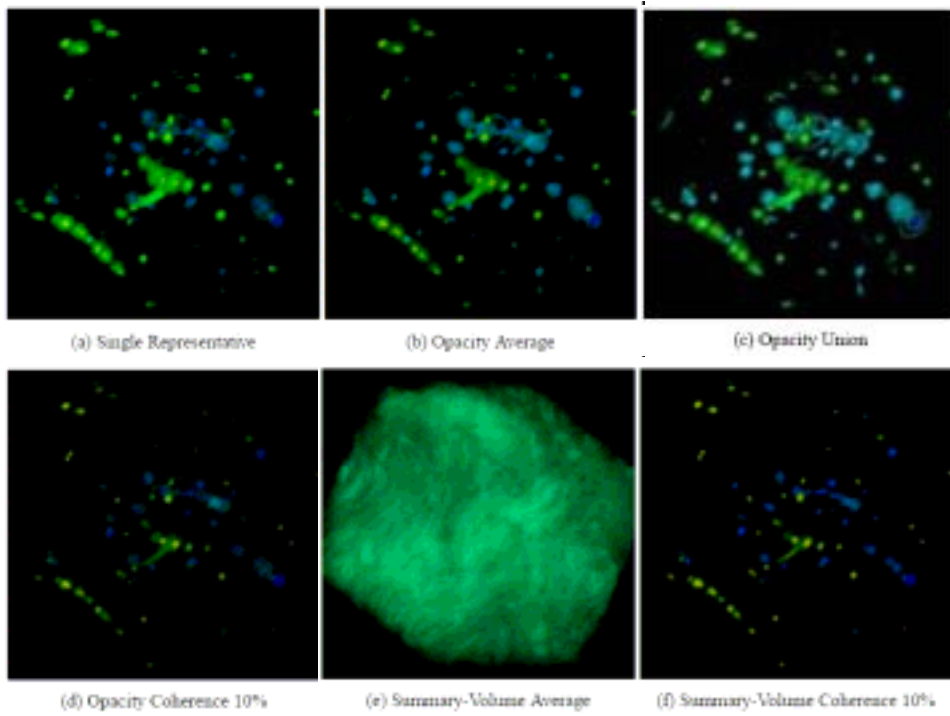


그림 IV-8. QG turbulence 데이터의 렌더링 결과

---

이 논문에서는 모든 데이터에 대해서는 적용할 수 없지만 일반적인 구조를 가지는 Time-Varying 볼륨 데이터의 경우에는 잘 만들어진 단 하나의 Transfer Function만으로도 충분히 그 특징을 가시화할 수 있다고 주장했다.

## 다. Semi-Automatic Generation of TF

Tzeng과 Ma는 SC2005에서 "Intelligent Feature Extraction and Tracking for Visualizing Large-Scale 4D Flow Simulations"라는 논문을 발표했다. 이 논문에서는 Time Variant Data에서 변화하는 Feature를 잘 포착해서 가시화할 수 있는 Transfer Function을 AI를 사용해서 자동적으로 생성하는 새로운 방법에 대해 제안하였다. 이 논문에서는 신경망(neural network) 이론을 이용했는데 이것은 매우 전통적인 AI 알고리즘으로 간단하고 일반적으로 널리 사용된다는 이유로 채택되었다. 물론 향후에는 Support Vector Machine, Bayesian Networks, Hidden Markov Models 등의 보다 향상된 AI 알고리즘에 대해서도 실험할 계획이라고 한다.

위에서도 설명했듯이 하나의 Transfer Function 만으로 Time Variant 데이터의 모든 Feature 들을 가시화하기는 쉽지 않다. 특히 여러 개의 Feature를 가지고 있는 데이터일수록 이러한 현상은 더욱 심하다. 그러나 여러 개의 Transfer Function을 사용해서 가시화한다고 해도 이를 사람이 일일이 만들기란 매우 지겹고 번거로운 일이다. 따라서 이 논문에선 신경망을 이용해서 컴퓨터가 자동적으로 Time Variant 데이터의 여러 Feature들을 잘 보여주는 Transfer Function들을 생성하도록 했다. 신경망의 특성상 컴퓨터가 사용자로부터 정보들을 입력받아서 학습을 해야만 그 학습을 바탕으로 새로운 결과물을 스스로 만들어 낼 수 있다. 이 논문에서도 신경망이 스스로 학습할 수 있도록 전체 타임 프레임들 중 일부 프레임에 대해서만 사용자가 Transfer Function을 생성하고 이 정보를 바탕으로 신경망이 나머지 Transfer Function을 생성하도록 했다. 전체적인 프로세스는 그림 IV-9와 같다.



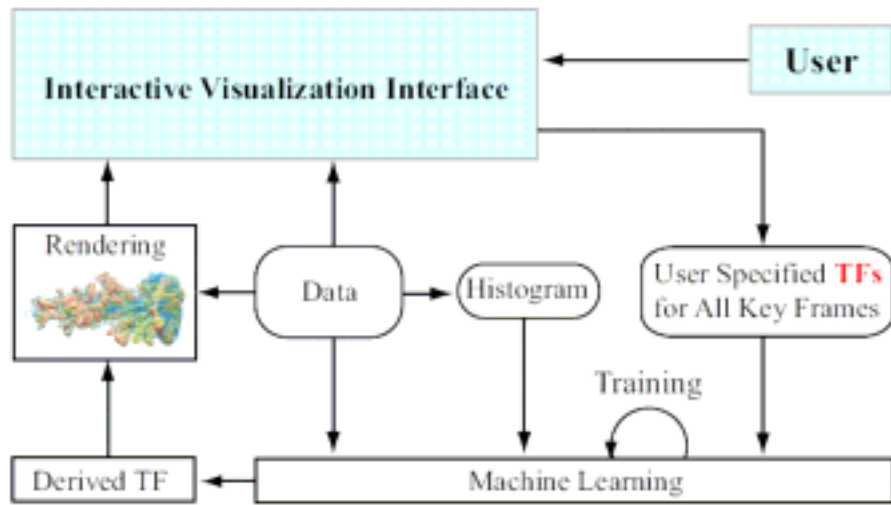


그림 IV-9. 신경망을 이용한 자동 Transfer Function 생성의 전체 프로세스

이렇게 해서 생성되는 Transfer Function을 이 논문에서는 Intelligent Adaptive Transfer Function이라 부른다. IATF는 두 타임 프레임에 대한 Transfer Function이 있을 때, 중간 프레임의 Transfer Function을 생성하기 위해 일반적인 보간법을 사용하지 않고 Cumulative Histogram을 통해 보다 향상된 중간 Transfer Function을 만들어 낸다. 아래 그림을 보면 보간법을 사용할 경우 가시화하기 원하는 Feature의 변화가 가시화되지 않고 그 주변의 영역이 블렌딩되어 가시화되는 것을 알 수 있다. 그러나 IATF를 사용하면 Feature의 변화를 확실히 알 수 있다. Cumulative Histogram은 불륨 데이터 값에 대한 히스토그램을 누적해서 그린 것으로, 그림과 같다. 여기서 Cumulative Histogram의 같은 값을 가지는 영역이 같은 Feature임을 알 수 있다. 따라서 신경망은 앞, 뒤 프레임의 Cumulative Histogram 값을 파악한 뒤 중간 프레임에서 비슷한 Cumulative Histogram 값을 가지는 영역을 가시화하도록 하면 된다.

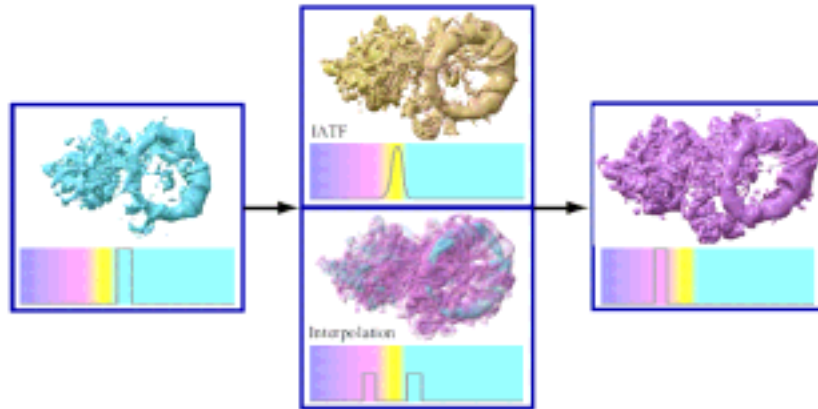


그림 IV-10. Intelligent Adaptive Transfer Function

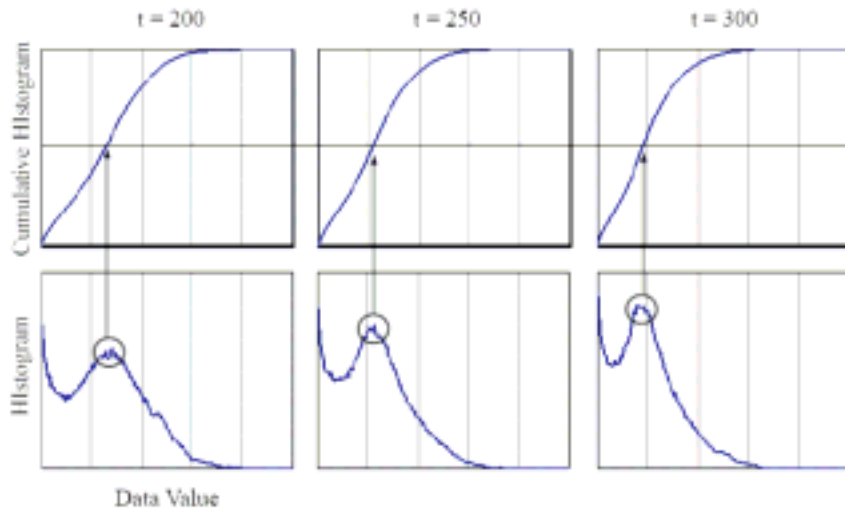


그림 IV-11. Cumulative Histogram

IATF를 이용해서 가시화한 전체적인 결과는 다음 그림들과 같다. 첫 번째 그림은 argon bubble 데이터를 가시화한 그림이다. 타임 프레임 195, 225, 255에 대해 사용자가 Transfer Function을 생성하면 중간 프레임들은 IATF로 자동적으로 생성되도록 했다. 각 키 프레임에서 생성한 Transfer Function을 전체 프레임에 적용했을 경우와 함께 비교되어있는데, 그림을 보면 하나의 Transfer Function을 사용해서 가시화한 경우에는 시간의 흐름에 따라 가시화하고자하는 Feature를 잃어버리는 것을 알 수 있으나 IATF를 사용한 경우엔 전체적으로 Feature를 잃지 않고 잘 포착한 것을 알 수 있다.

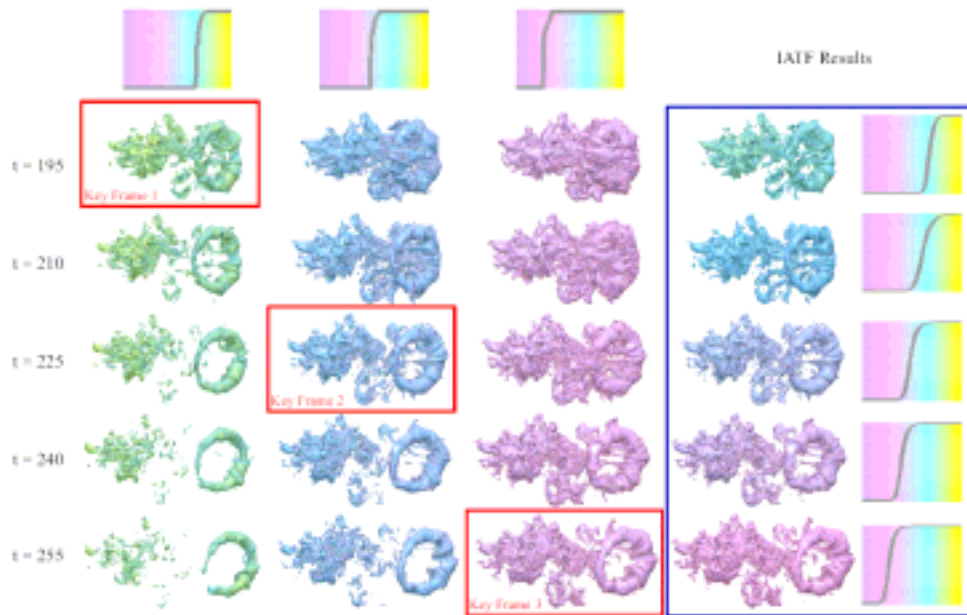


그림 IV-12. Argon 데이터에 대한 IATF 적용 결과

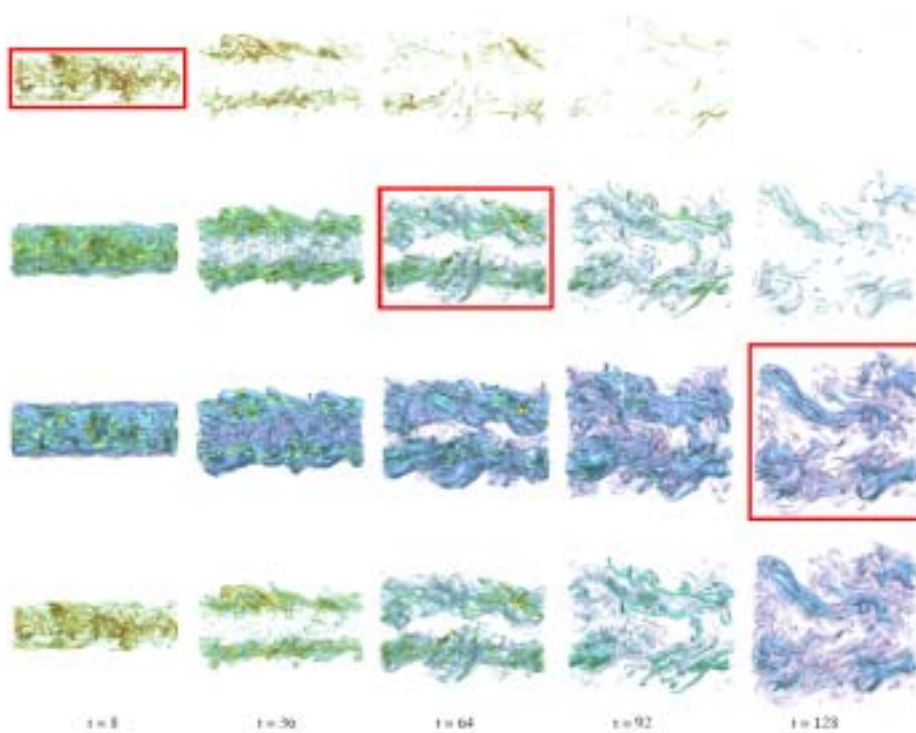


그림 IV-13. DNS turbulent combustion 데이터의 IATF 적용 결과

---

## V. 결론

본 기술문서에서는 Time Variant 데이터를 위한 Transfer Function을 생성하는 여러 기술들에 대해 알아보았다. Time Variant 데이터란 시간에 따라서 계속 변화하는 동적인 데이터를 말하고, Transfer Function이란 볼륨 데이터에서 사용자가 가시화하고자 하는 영역을 분리해내는 Function을 말하며 일반적으로 그 데이터의 중요한 Feature를 분리해낸다. Transfer Function을 생성하기 위한 많은 방법이 있지만, 일반적으로 사용자가 임의의 Transfer Function을 하나 만들어 보고 이를 점진적으로 개선시키는 방법이 많이 쓰인다. Time Variant 데이터는 일반적으로 가시화하고자 하는 Feature가 시간의 흐름에 따라 계속 변화하기 때문에 Transfer Function 역시 이에 따라서 계속 변화해야 한다. 따라서 이론적으로 가장 완벽하게 볼륨 데이터의 특징을 가시화하기 위해서는 매 타임 프레임마다 각기 다른 Transfer Function을 적용해야 한다. 그러나 클 경우 수천 프레임에 이르는 Time Variant 데이터의 Transfer Function을 매 프레임마다 일일이 수작업으로 생성하는 것은 매우 힘든 일이다. 이를 위해 쉽고 간편하게 Transfer Function을 생성할 수 있는 많은 연구가 있어왔다. 초기에는 Transfer Function을 빠르게 생성할 수 있도록 가이드를 제공하거나 아예 단 하나의, 또는 최소한의 Transfer Function 만으로 Time Variant 데이터를 가시화하는 방법에 대한 연구가 있었고, 그 이후에는 컴퓨터가 자동으로 전체 타임 프레임에 대한 Transfer Function을 생성하는 방법에 대한 연구가 있었다. 그러나 아직까지도 이 부분에 대한 연구는 미흡한 편이다. 일반적인 Time Variant 데이터에 대한 연구가 아니라 특정 데이터에 대한 Case Study인 경우가 대부분이기 때문이다. 앞으로 보다 많은 분야의 데이터에 대해 일반적으로 적용할 수 있는 보다 발전된 연구 결과가 필요하다고 하겠다.

---

## VI. 참고문헌

- [1] Babaj C, Pascucci V, Schikore D, The Contour Spectrum, Proceedings of IEEE Visualization 1997, Phoenix, AZ, 1997
- [2] Silver D, Wang X, Tracking and Visualizing Turbulent 3D Features, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.3, No.2, 1997
- [3] Kindlmann G, Durkin J, Semi-Automatic Generation of Transfer Functions for Direct Volume Rendering, Proceedings of IEEE Symposium on Volume Visualization 98, pages 79-86, 1998
- [4] Kniss J, Kindlmann G, Hansen C, Interactive Volume Rendering Using Multi-Dimensional Transfer Functions and Direct Manipulation Widgets, Proceedings of IEEE Visualization 2001
- [5] Jankun-Kelly T, Ma K, A Study of Transfer Function Generation for Time-Varying Volume Data, Proceedings of Volume Graphics 2001
- [6] Kniss J, Kindlmann G, Hansen C, Multidimensional Transfer Functions for Interactive Volume Rendering, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 8, No. 3, pp. 270-285, 2002
- [7] Tzeng F, Lum E, Ma K, A Novel Interface for Higher-Dimensional Classification of Volume Data, Proceedings of IEEE Visualization 2003, Oct, 2003
- [8] Tzeng F, Lum E, Ma K, Intelligent Feature Extraction and Tracking for Large-Scale 4D Flow Simulations, Proceedings of Supercomputing 2005, Seattle, WA, 2005
- [9] Aikba H, Fout N, Ma K, Simultaneous Classification of Time-Varying Volume Data Based on the Time Histogram, Proceedings of Eurographics Visualization Symposium, May, 2006