

ISBN 978-89-6221-001-2 98560



분산 컴퓨팅 환경을 위한 데이터 가시화 파이 프라인 개발

(Development of Visualization Pipeline for
Distributed Computing Environment)

구 기 범 (Gee Bum Koo)

voxel@kisti.re.kr

Visualization Team, Supercomputing Center

한국과학기술정보연구원

Korea Institute of Science & Technology Information

제목 차례

1. 서론	1
2. Visualization Software 비교	2
3. Visualization pipeline의 설계	4
가. Usage scenario	5
나. 구성요소	5
다. 프리미티브 서비스의 분류 및 목록	6
라. 프리미티브 서비스의 설계	8
4. Visualization pipeline의 구현	10
가. 개요	10
5. 이슈	12
6. 결론 및 향후 계획	13
7. 참고문헌	14

표 차례

[표 2-1] Visualization software 비교(일반사항)	2
[표 2-2] Visualization software 비교(렌더링 알고리즘)	2
[표 2-3] Visualization software 비교(가상현실 지원여부)	2
[표 2-4] Visualization software 비교(실행환경)	3
[표 2-5] Visualization software 비교(협업환경 지원)	3
[표 2-6] Visualization software 비교(계산제어 기능)	3
[표 2-7] Visualization software 비교(개발자 지원)	3
[표 3-1] Spaghetti를 구성하는 프리미티브 서비스 그룹	7
[표 3-2] 프리미티브 서비스 목록	8

그림 차례

[그림 3-1] Spaghetti의 usage scenario	5
[그림 3-2] 단일 프리미티브 서비스의 구조	9

1. 서론

그리드와 같은 차세대, 고성능 컴퓨팅 환경에서는 이제 단일 시뮬레이션이 테라바이트 수준의 데이터를 생성하는 경우를 어렵지 않게 볼 수 있다. 이에 따라서 대용량의 데이터를 빠르게 가공해서 시각적으로 표현하고, 그 결과를 여러 사람이 공유할 수 있도록 도와주는 가시화 소프트웨어에 대한 수요도 증가하고 있다. 하지만 AVS/Express나 EnSight Gold와 같은 상용 가시화 소프트웨어는 다양한 기능을 갖추고 있음에도 불구하고, 도입가격이 높은데다가 그리드나 웹 서비스에 대한 지원이 상대적으로 취약하다는 한계를 갖고 있다. 그렇기 때문에 해외의 주요 그리드 관련 프로젝트에서는 고유의 환경에 최적화된 데이터 가시화 소프트웨어(또는 환경)를 개발하기 위한 별도의 프로젝트를 추진하고 있다.

본 보고서에서는 현재 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터에서 구현중인 visualization pipeline(코드명 Spaghetti)의 설계와 구현내용에 대해 소개한다. Spaghetti는 고속 네트워크로 연결된 다수의 고성능 컴퓨터와 고해상도 가시화 장비를 이용해서 대용량의 데이터를 빠르게 가공하거나 시각적으로 표현할 수 있고, 그 결과를 원격지의 연구자들이 실시간으로 공유할 수 있는 환경을 구축할 수 있다. 특히 visualization pipeline을 구성하는 모든 단위기능이 독립적으로 실행될 수 있으며, 각 단위기능이 독자적인 웹 서비스(Web Service) 인터페이스를 갖추고 있기 때문에 타 애플리케이션이 원하는 기능만을 호출하거나 사용자가 특정 단위기능을 조합해서 새로운 애플리케이션을 개발할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

2. Visualization Software 비교

이 장에서는 대표적인 visualization 애플리케이션을 기능별로 비교한다. 각 표에서 빈 칸으로 남아있는 항목들은 아직 완전한 조사가 진행되지 않았기 때문에 해당 항목에 대한 정확한 내용을 모두 기입하지는 않았지만, 향후 지속적인 분석을 통해 각 애플리케이션의 대표적인 기능을 모두 확인할 수 있도록 내용을 보강해 나갈 예정이다.

[표 2-1] Visualization software 비교(일반사항)

일반사항	COVISE	VisIT	OpenDX	ParaView	VisTrails	SCIRun
제작	HLRS	LLNL	IBM	Kitware	Utah	Utah
개발년도	1993	2000	2000	2000	2005	1992
원격 가시화	Yes			Yes		
워크플로우	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes
Multiple visualization					Yes	
병렬 데이터 처리		Yes		Yes		

[표 2-2] Visualization software 비교(렌더링 알고리즘)

렌더링 알고리즘	COVISE	VisIT	OpenDX	ParaView	VisTrails	SCIRun
VTK 기반 여부		Yes		Yes	Yes	
직접볼륨렌더링	Yes	Yes	Yes	Yes		
병렬 렌더링		Yes		Yes		
입체영상 지원	A	A		RB		

[표 2-3] Visualization software 비교(가상현실 지원여부)

가상현실 지원	COVISE	VisIT	OpenDX	ParaView	VisTrails	SCIRun
Tracking device	Yes					
VR interface	Yes					

표 [2-4] Visualization software 비교(실행환경)

플랫폼	COVISE	VisIT	OpenDX	ParaView	VisTrails	SCIRun
<i>Unix/Linux</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>Windows</i>	Yes	Yes		Yes		Yes
<i>SMP</i>	Yes		Yes	Yes		Yes
<i>Cluster</i>	Yes	Yes	No	Yes		
<i>WAN</i>	Yes		No	Yes	Yes	

[표 2-5] Visualization software 비교(협업환경 지원)

협업환경	COVISE	VisIT	OpenDX	ParaView	VisTrails	SCIRun
<i>Sharing</i>	Yes					Yes
<i>A/V conference</i>	Yes	No		No		No

[표 2-6] Visualization software 비교(계산제어 기능)

계산제어	COVISE	VisIT	OpenDX	ParaView	VisTrails	SCIRun
<i>Simulation codes</i>	Yes	No	No	No	No	Yes
<i>Step-wise control</i>	Yes	No	No	No	No	Yes

[표 2-7] Visualization software 비교(개발자 지원)

개발자 지원	COVISE	VisIT	OpenDX	ParaView	VisTrails	SCIRun
<i>Open source</i>	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>License</i>	계약기반	BSD				MIT
<i>Module extension</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>Python interface</i>		Yes		No		
<i>C/C++ interface</i>	Yes	Yes		Yes		Yes
<i>JAVA interface</i>		Yes		No		

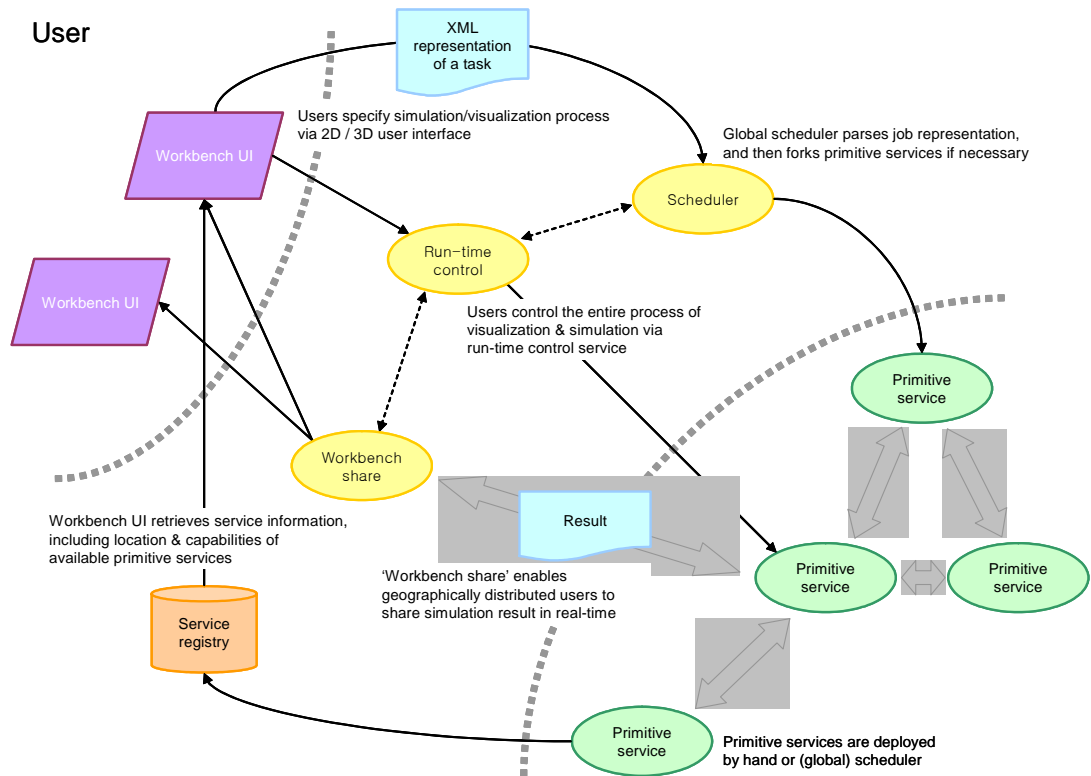
3. Visualization pipeline의 설계

Spaghetti는 아래의 목표를 달성하는 데에 주안점을 두고 설계가 이뤄졌다.

- High performance : visualization pipeline을 구성하는 모든 서비스는 초고속 네트워크로 연결된 다수의 고성능 컴퓨터에서 실행되는 것을 전제한다. 특히 대부분의 서비스를 병렬 프로그램으로 구현하고, 각 서비스 사이의 효율적인 데이터 교환을 위해 병렬 데이터 전송기법을 도입함으로써 대량의 데이터를 처리할 때에도 최대의 성능을 발휘하도록 했다.
- Fine-grained, primitive visualization services with standard interface : 데이터 가시화 과정의 모든 기능을 세분(이하 프리미티브 서비스)해서 독립적으로 사용되거나 몇몇 프리미티브 서비스를 조합해서 새로운 visualization pipeline을 구현할 수 있도록 했다. 사용자는 프리미티브 서비스 사이의 데이터의 흐름을 지정하는 것만으로 전체 데이터 가시화 과정을 서술할 수 있고, 데이터 가시화의 각 단계를 세밀하게 제어할 수 있게 된다. 각 프리미티브 서비스에 대해 웹 서비스 표준을 따르는 인터페이스(Web Service API)를 정의해서 사용자나 애플리케이션이 쉽게 Spaghetti의 기능을 이용할 수 있도록 했다. 경우에 따라서는 사용자가 별도의 유저 인터페이스를 구현해서 새로운 애플리케이션의 코어로 활용할 수도 있다. 그리고 모든 프리미티브 서비스가 서로 다른 사용자에게 의해 생성된 질의(query)를 동시에 처리할 수 있도록 해서 실질적인 가시화 자원의 공유가 가능하도록 했다.

가. Usage scenario

[그림 3-1]은 spaghetti의 사용 시나리오를 보여준다.



[그림 3-1] Spaghetti의 usage scenario

나. 구성요소

- **Workbench** : Workbench는 workbench UI와 workbench share로 나뉘지며, visualization pipeline의 사용자 인터페이스를 담당한다. Workbench UI는 말 그대로 데이터 가시화 파이프라인에 접근하기 위한 사용자 인터페이스로 이는 다시 2차원 데스크톱 화면을 위한 UI와 3차원 가상현실 환경을 위한 UI로 분리해서 구현할 수 있다. Workbench share는 원격지 사용자들이 작업 결과를 실시간으로 공유할 수 있도록 해준다.
- **Service registry** : Service registry는 computing pool을 구성하는 고성능 컴퓨팅/가시화 자원들이 어떤 서비스를 실행하고 있으며, 어떤 상태에 있는지,

자원의 성능은 어느 정도인지 등에 대한 정보를 모두 담고 있다.

- Scheduler : Scheduler는 Workbench UI로부터 작업 내역을 전달 받아서 computing pool의 고성능 컴퓨팅 자원에 각 작업을 할당하는 역할을 수행한다. Scheduler가 컴퓨팅 자원을 사용할 때에는 service registry로부터 각 자원의 현재 상태를 전달받아서 가장 효율적이라고 판단하는 자원에 작업을 할당한다.
- 프리미티브 서비스(Primitive service) : 프리미티브 서비스는 실제로 데이터를 처리하는 웹 서비스의 집합이다. 각각의 서비스는 Web Service 표준을 따르는 인터페이스를 갖고 있기 때문에 Spaghetti뿐만 아니라 다른 애플리케이션도 사용할 수 있도록 구현된다.
- Run-time control : Run-time control은 사용자로 하여금 현재 실행중인 작업의 내용을 변경할 수 있도록 지원하기 위해 존재한다. 사용자는 run-time control을 이용해서 실행 중인 시뮬레이션/가시화의 중간 결과를 그림으로 보고, 그 내용을 바탕으로 다시 시뮬레이션 파라미터를 변경할 수 있도록 해준다.

다. 프리미티브 서비스의 분류 및 목록

1) 서비스 그룹

Spaghetti를 구성하는 프리미티브 서비스는 그 용도에 따라서 몇 개의 소그룹으로 분류될 수 있다[표 3-1]. [표 3-1]에서 제시하는 서비스 그룹은 현재까지의 설계내용을 반영한 것에 불과하며, 향후 개발을 더 진행하면서 그 내용에 변경이 있을 수 있다. 특히 데이터 가시화를 위한 전처리와 시뮬레이션 제어에 대한 내용은 아직 구체적인 내용이 정해지지 않았기 때문에 표에 나타나지 않았으나, 진정한 계산제어(computational steering) 환경을 구현하려면 해당 그 부분에 대한 서비스 그룹을 대폭 보강해야 할 것이다.

[표 3-1] Spaghetti를 구성하는 프리미티브 서비스 그룹

서비스 그룹 명	주요 기능
Data conversion	시물레이션에서 만들어진 데이터를 XML로 변환하는 서비스 집합
Numerical operation	볼륨/다각형 데이터의 스칼라/벡터 값에 대한 수치연산을 수행하는 서비스 집합
Iso-value	볼륨 데이터로부터 등가면(iso-line/iso-surface)을 추출하는 서비스 집합
Color/Transfer function	데이터 값에 색상과 투명도를 지정하는 서비스 집합
Geometry	다각형 데이터를 가공하는 서비스 집합 (예: decimation)
Render	볼륨/다각형 데이터를 그림으로 표현하는 서비스 집합
Display	렌더링 된 이미지를 고해상도 화면에 출력하는 서비스 집합
Ruler	2/3차원 공간 내에서의 두 지점 사이의 거리, 지정된 영역의 부피 등을 계산하는 서비스 집합
Graph	데이터의 특성을 분석해서 그래프로 표현하는 서비스 집합
Conference	다자간 HD급 고해상도 화상회의를 가능하게 하기 위한 서비스 집합

2) 프리미티브 서비스 목록

[표 3-2]는 최소한의 데이터 visualization pipeline을 구현하기 위해 필요한 프리미티브 서비스의 목록을 보여준다. 대부분의 프리미티브 서비스는 명칭으로부터 기능을 유추할 수 있을 것이고, 앞으로 Spaghetti의 버전이 올라가면서 프리미티브 서비스의 목록은 지속적으로 보강될 것이다.

[표 3-2] 프리미티브 서비스 목록

서비스 그룹	프리미티브 서비스	서비스 그룹	프리미티브 서비스
Data conversion	ConvertHDF5 ConvertNetCDF ConvertTecplot ConvertPlot3D ConvertCGNS	Render	RenderPolygon RenderVolume
		Display	SAGE
		Ruler	MeasureDistance MeasureArea MeasureVolume
Iso-value	IsoLine IsoSurface	Graph	Histogram
Color/Transfer function	ColorMap TransferFunction	Conference	HDConference
		Geometry	Decimation

라. 프리미티브 서비스의 설계

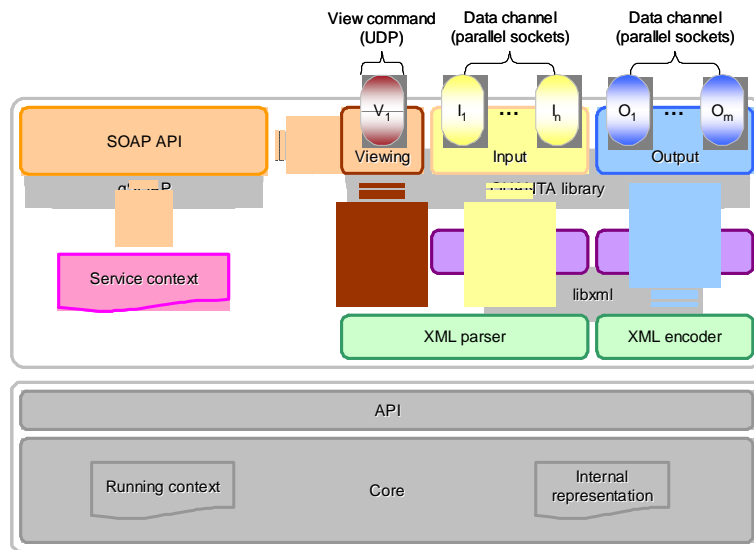
Spaghetti의 모든 프리미티브 서비스는 기본적으로 [그림 3-2]의 구조를 따라간다. 그림의 가장 하단에는 다양한 가시화 알고리즘을 구현한 서비스 코어가 존재하고, 외부에서 서비스 코어를 호출할 때 사용하는 API가 바로 위의 계층에 구현되어 있다. 그 위에 웹 서비스로의 변환을 위한 인터페이스가 추가되는데, 이 인터페이스는 외부로부터의 입력에 대응해서 서비스 코어의 API를 호출하고, 그 결과를 돌려주는 식으로 작동한다. 웹 서비스 인터페이스에는 데이터 입/출력 채널, SOAP API, XML 파서와 인코더 등이 각각 포함되어 있다.

○ 데이터 입/출력 채널 : 외부의 다른 프리미티브 서비스와 데이터를 교환하기 위해 사용된다. 각각의 입력 데이터 채널과 출력 데이터 채널에 대해 미리 어떤 종류의 데이터가 전송되고 몇 번 포트를 사용하는지 정의돼 있으며, 하나의 데이터 채널이 동시에 다수의 TCP 소켓을 활용해서 네트워크 대역폭을 최대한으로 활용할 수 있도록 구현한다.

○ SOAP API : 서비스 초기화, 실행, 종료뿐만 아니라 입/출력 데이터 채널의 연결 등 프리미티브 서비스의 모든 작동이 SOAP API를 통해서 이뤄진다. 따라서 외부 애플리케이션은 SOAP API를 호출하는 것만으로 해당 서비스를 사용할 수 있게 된다.

○ XML 파서/인코더 : 외부로부터 전송되는 모든 데이터는 XML 형태로 표현된다. 파서는 XML로 표현된 데이터를 코어 알고리즘이 활용하기 위한 고유의 포맷으로 변환하고, 인코더는 데이터를 외부로 보내기 전에 XML 형태로 변환하는 역할을 맡는다.

[그림 3-2] 단일 프리미티브 서비스의 구조



4. Visualization pipeline의 구현

가. 개요

현재 Spaghetti는 1차 설계가 완성됐고, 그에 따라 기본적인 데이터 변환과 핵심 기능을 담당하는 일부 서비스가 구현돼있는 상태다.

1. XML을 이용한 데이터 표현

계산과학자는 수치 데이터를 저장하기 위해 각 연구 분야에서 널리 사용되는 파일 포맷을 채용하지만 visualization pipeline에서는 응용분야를 가리지 않기 때문에 visualization pipeline 내에서 사용하기 위한 표준 데이터 포맷을 정의하고, 다양한 포맷의 데이터를 표준 데이터 포맷으로 변환하는 것이 바람직하다. Spaghetti에서는 플랫폼 의존성을 피하고, 다른 포맷으로의 변환도 용이하게 하기 위해 프리미티브 서비스가 사용하는 모든 종류의 데이터를 XML로 표현했다.

2. 데이터 입/출력 채널

서로 다른 프리미티브 서비스가 대용량 데이터를 효율적으로 교환하려면 병렬 소켓(parallel socket) 등을 이용하는 것이 바람직하지만 이것은 Web Service 표준의 범위에 들어가지 않는다는 문제가 있다. 그렇기 때문에 Spaghetti에서는 프리미티브 서비스를 제어할 때만 SOAP 메시지를 사용하고, XML로 표현된 대용량 데이터의 전송은 QUANTA 라이브러리로 구현했다. QUANTA 라이브러리를 이용하면 각 데이터 채널에 대해 병렬 TCP 소켓을 활용해서 네트워크 미디어가 제공하는 대역폭을 최대한 활용할 수 있다는 장점이 있다.

3. 구현된 서비스 목록

현재 Spaghetti에는 다음과 같은 프리미티브 서비스가 구현돼있다.

○ 볼륨 데이터 변환 서비스 : 바이너리 파일로 저장돼있는 볼륨 데이터를 XML을 이용한, Spaghetti 내에서 사용되는 표준 데이터 표현방법으로 변환한다. 변환된 데이터는 다른 프리미티브 서비스의 입력으로 사용된다. 현재 기본적인 변환

기능만 구현돼있지만 지속적인 개선을 통해 계산과학분야에서 사용하는 다양한 포맷의 파일을 가공할 수 있게 될 것이다.

○ 등가면 추출 서비스 : 3차원 볼륨 데이터와 임계값(threshold)을 원격지로부터 받아서 볼륨 데이터로부터 임계값에 해당하는 등가면(iso-surface)을 폴리곤 데이터로 추출해서 외부에 전송해준다.

○ 히스토그램 서비스 : 볼륨 데이터의 특성을 파악하기 위해 입력으로 받은 볼륨 데이터에 대한 2, 3, 4차원 히스토그램을 생성한다.

○ 볼륨 렌더링 서비스 : 원격지로부터 볼륨 데이터를 받아서 그림을 그린 후 SAGE에 의해 운영되는, 원격지에 있는 고해상도 출력장치에 이미지를 출력한다. 볼륨 렌더링 서비스는 소프트웨어 레이크캐스팅과 그래픽스 하드웨어를 이용한 볼륨 렌더링 알고리즘이 각각 구현돼 있지만, 외부에서 보기에는 같은 API를 사용하기 때문에 사용자는 내부 구현에 대해서는 신경쓰지 않아도 된다.

○ 폴리곤 렌더링 서비스 : 원격지로부터 폴리곤 데이터를 받아서 그림을 그린 후, SAGE에 의해 운영되는 원격지의 고해상도 출력장치에 이미지를 출력한다.

○ 전이함수(Transfer function) : 전이함수는 볼륨 데이터를 구성하는 값의 범위 중 특정 값(또는 범위)에 대해 색상과 투명도를 지정하기 위해 사용한다. 이 서비스는 빈번한 사용자 인터랙션이 필요하고 원격 가시화를 적용하는 것이 부적절하기 때문에 웹 서비스가 아닌 stand-alone 애플리케이션으로 개발됐다.

○ 협업 환경(Collaborative environment) : 협업 환경 서비스는 미국 EVL에서 개발한 SAGE(Scalable Adaptive Graphics Environment)를 차용했다. SAGE를 이용하면 원격지에 있는 여러 사람이 동시에 가시화 영상을 공유하면서 토론을 할 수 있다.

5. 이슈

Spaghetti는 아직 개발 초기 단계이니만큼 여러 가지 기술적인 이슈가 존재한다. 이 장에서는 몇 가지 중요한 이슈에 대해서 설명한다.

○ Thread safety의 보장 : 이것은 프리미티브 서비스의 구현 방법과 밀접한 관계가 있다. 기본적으로 spaghetti는 하나의 프리미티브 서비스가 여러 개의 완전히 독립적인 다른 종류의 가시화/시뮬레이션 작업을 동시에 지원해야 하는데, 이를 위해서 프리미티브 서비스는 동시에 다수의 running context를 유지하고 있어야 하고, 동시에 각 running context에 대한 데이터를 별도로 처리할 수 있어야 한다. 이런 프리미티브 서비스를 구현할 때 멀티 쓰레드 형태로 구현할 가능성이 가장 높는데, 이 경우 다수의 쓰레드가 동시에 실행되므로, 멀티 쓰레드 환경에서 원활한 서비스 수행이 가능해야 할 것이다.

○ MPI Job 형태의 프리미티브 서비스 사이의 데이터 전송 : 서로 독립적인 프리미티브 서비스가 MPI 작업으로 구현돼있을 경우, 데이터를 보내는 프리미티브 서비스와 받는 프리미티브 서비스가 각각 다른 수의 PE에서 실행될 경우 효율적인 데이터 재분할/병합 과정을 필요로 하게 된다. 이에 대한 기본적인 해결방법은 제안해놓은 상태지만 아직 최적이라고 말할 수는 없다.

○ Spaghetti 내에서는 모든 데이터가 XML로 표현된다. 이 데이터를 코어 알고리즘이 사용할 수 있는 internal representation으로 변환하는 과정에서 일단 1번의 데이터 중복이 발생한다. 대부분의 코어 알고리즘들이 '데이터를 등록하는' API를 갖고 있고, 그 API를 통해 외부 데이터를 '내부'에 전송하는데, 이 때 아주 naive하게 작성한다면 외부 데이터와 내부 데이터가 동시에 존재하게 된다. 이것으로 인해 다시 한 번의 데이터 중복이 발생한다. 많은 경우 큰 데이터를 다루므로 데이터 중복을 최대한 피할 수 있게 코어 알고리즘의 API를 잘 설계해야 되는데 아직 이 부분에 대해 완전한 해결을 보지 못한 상태다.

6. 결론 및 향후 계획

본 보고서에서는 현재 구현중인 웹 서비스 기반 visualization pipeline(코드명 Spaghetti)의 설계와 구현에 대해 설명했다. Spaghetti는 세분화된 프리미티브 서비스의 조합으로 구성되었고 각 프리미티브 서비스가 표준 웹 서비스 인터페이스를 갖고 있기 때문에, 사용자는 원하는 순간에 필요한 기능만 호출하거나 기존의 프리미티브 서비스를 조합해서 새로운 애플리케이션을 구현할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 여기에 더해서 고해상도 화상회의를 지원하기 때문에 사용자는 Spaghetti를 이용함으로써 대용량 데이터의 가공 및 가시화, 가시화 결과의 공유를 통합 협업 연구를 쉽게 진행할 수 있게 된다.

마지막으로 Spaghetti는 아직 구현과정에서 발생한 기술적인 문제가 모두 해결되는 않았으나, 앞으로 지속적인 개발을 수행해서 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터가 도입할 예정인 차세대 가시화 시스템에서 운영할 계획이다.

7. 참고문헌

- K. W. Brodlie, J. Brooke, M. Chen, D. Chisnall, C. J. Hughes, N. W. John, M. W. Jones, M. Riding, N. Roard, M. J. Turner and J. Wood, "A Framework for Adaptive Visualization", IEEE Visualization 2006.
- Chris Hughes, Nigel W. John, and Mark Riding, "A generic approach to High Performance Visualization enabled Augmented Reality", UK e-Science Programme All Hands Meeting, Nottingham, September 2006
- David Chisnall and Min Chen, "The Making of SimEAC", 3rd IEEE International Conference on Autonomic Computing, Dublin, Ireland, 2006
- Chris Hughes and Nigel W. John, "A flexible infrastructure for delivering Augmented Reality enabled Transcranial Magnetic Stimulation", In Proc. MMVR 14, Long Beach, California, IOS Press, ISBN 1-58603-583-5, 2006, pp219-224
- Mark Riding, Jason Wood, Ken Brodlie, John Brooke, Min Chen, David Chisnall, Chris Hughes, Nigel W. John, Mark W. Jones, Nicolas Roard, "e-Viz: Towards an Integrated Framework for High Performance Visualization", Proceedings of the UK e-Science All Hands Meeting 2005, EPSRC, ISBN 1-904425-53-4, pp1026-1032
- QUANTA Library, <http://www.evl.uic.edu/cavern/quanta>
- gSOAP Library, <http://www.cs.fsu.edu/~engelen/soap.html>
- VTK, <http://www.vtk.org>
- libxml, <http://xmlsoft.org>
- SAGE, <http://www.evl.uic.edu/cavern/sage>