



변수의 값을 계산하는데 필요한 방정식을 제공한다. 전극의 수가 많아지면 방정식이 많아지고 이에 의해 변수를 많게 할 수 있다. 결국 요소의 개수는 계산 시간에 큰 영향을 주며 외부 전극의 개수와 해상도, 속도 요구사항에 의해 결정된다. 동적 칼만 필터와 같은 영상 복원 알고리즘은 요소의 수를  $n$ 이라 할 때  $n \times n$  2차원 행렬에 대한 차코비언, 행렬 곱하기 및 역행렬 계산 등으로 구성된다. 따라서 ET 시스템에 있어서는 이러한 산술 계산을 효율적으로 수행할 수 있는 하드웨어 혹은 계산 소프트웨어가 필수적이다.

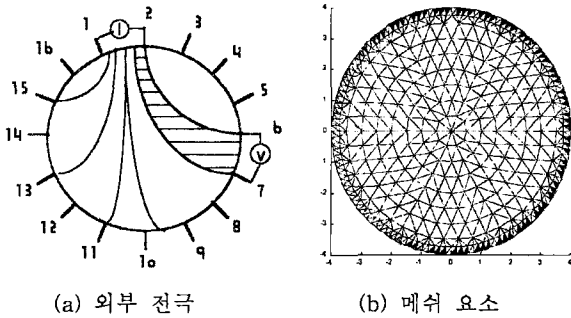


그림 1. ET의 원리

산술 계산을 효율적으로 수행할 수 있는 소프트웨어 도구들도 많이 개발되어 상용화되고 있다. 상용화된 소프트웨어 중에서 Matlab은 가장 널리 사용되는 계산 프로그램으로서 인터프리터에 기반한 명령처리 방식과 복잡한 데이터 표현방식 때문에 전반적인 수행속도가 늦어지는 단점을 갖고 있지만 곱하기, 역행렬 등 행렬의 기본 연산에 대해서는 가장 수행속도가 빠르다[2]. 따라서 ET 시스템과 같이 많은 행렬 연산을 포함하는 프로그램들은 Matlab으로 작성되어 있으며 그 속도가 상당히 우수하다. 이와 아울러 효율적인 행렬 계산을 수행하는 C 라이브러리를 제공하여 프로그래머들로 하여금 새로운 기능을 추가할 수 있도록 하고 있다.

영상 복원 알고리즘은 반복적인 루프로 구성되며 각 루프에서는 하나의 전극에서 주입된 신호에 의해 다른 전극들에서 측정된 신호, 즉 한 프레임의 데이터에 각 요소의 값을 계산한다. 따라서 계산 시간을 단축시키려면 CPU의 성능을 개선하거나 요소의 수를 감소시켜야 한다. 본 논문에서 대상으로 하고 있는 원자력 발전소의 열수력 시스템의 경우 물체 내부는 물과 기포, 오직 두 상태만 갖는데 이와 같이 물체 내부가 오직 두 상태만 갖는 경우를 이상 유동 모델(two-phase flow model)이라고 한다[5]. 이러한 모델에서 각 프레임 계산에서 모든 요소의 값을 계산하기보다는 사전 분석에 의해 물로 판명된 요소들을 동일 그룹으로 결합하여 하나의 요소인 것으로 간주한다면 계산속도를 개선할 수 있다. 이 사전 분석 과정의 수행은 추가적인 낭비시간이지만 데이터와 처리 과정의 독립성이 강하므로 분산 계산에 의해 그 시간을 단축시킬 수 있으며 전체적인 복원 시간을 단축할 수 있다[6].

### 3. 구현

Matlab은 다양한 행렬을 mxArray 구조체로 표현하는데 그림 2에서 보는 바와 같이 임의 크기의 행렬을 저장하기 위하여 행의 수, 열의 수 및 데이터에 대한 포인터 등을 갖고 있다. 데이터 영역에는 행렬의 각 원소들이 열 우선(column major) 방식으로 저장되어 있으며 Matlab C 라이브러리 함수를 이용하여 각 필드에 접근할 수 있다..

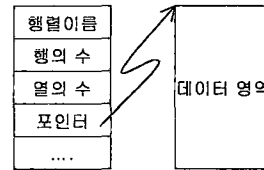


그림 2. Matlab의 mxArray 구조체

네트워크로 연결된 노드, 즉 Matlab을 수행하는 PC 혹은 CPU들이 서로 행렬들을 교환할 수 있으려면 동적 링크 라이브러리(DLL; Dynamic Link Library)를 Mex 유틸리티를 이용하여 C 언어로 작성하여야 하며 이 DLL에서 Matlab 자료구조를 받아 운영체제에서 제공하는 통신 기능을 호출하여야 한다. 이 과정에서 송신자는 전송할 데이터 영역을 추출하며 수신자는 미리 데이터 영역을 할당한 후 그 영역에 네트워크를 통해 수신된 데이터를 채워 넣는다. 이를 위해 수신자 측의 DLL 루틴은 입력으로 수신될 Matlab 행렬의 차원을 받아야 한다.

Windows 계열의 운영체제들은 다양한 통신 함수들을 제공하는데 ET 시스템은 그 특성상 신뢰성있는 통신을 요구하므로 NT 운영체제에서 사용되는 Pipe 기능을 사용한다[7]. 이 통신 DLL 함수는 연결의 초기화 및 연결을 통한 읽기, 쓰기 및 연결 해제 등의 기능을 제공한다.

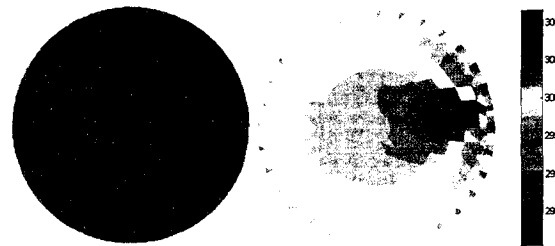


그림 3. 그룹 형성의 기본 특성

동적 칼만 필터 알고리즘은 요소의 수에 따라 결정되는 여러 2차원 배열을 자료구조로 갖고 있으며 이들은 루프가 진행되는 동안 이전 루프에서 계산된 값, 해당 루프에서의 값의 변화, 그리고 다양한 중간 계산 결과들을 포함한다[8]. 처음 루프는 이전 계산결과가 없기 때문에 수행시간이 가장 빠를 뿐 아니라 독립적인 수행이므로

1) 다중 CPU를 탑재한 PC에서 Matlab을 동시에 수행시키는 경우

그룹을 정하는데 있어서 공정한 데이터를 제공할 수 있다. 실제 구현된 프로그램의 수행속도를 측정할 때 의하면 초기 루프와 이후 루프의 수행시간은 약 3~4배 정도 차이가 난다.

그림 3(a)는 대상 물체 내부의 한 가운데에 기포가 하나 있는 경우이며 그림 3(b)는 처음 루프를 수행한 후의 결과이다. 그림 3(b)의 오른쪽 표면에서부터 적색이 퍼지고 있는데 이 곳에 1번 전극이 위치하고 있다. 초기 루프를 수행하고 나면 1번 전극부터 기포를 연결하는 가상의 직선(사실은 곡률이 작은 곡선) 부근은 어떤 물체가 있음을 나타내고 있으며 그 이외의 부분은 물로 보여지고 있다. 이 부분은 이후 루프에서 다른 값으로 변했다가 최종적으로 물의 값으로 수렴하는데 이 과정을 배제하고 물 그룹에 속하도록 하면 속도가 개선될 수 있다.

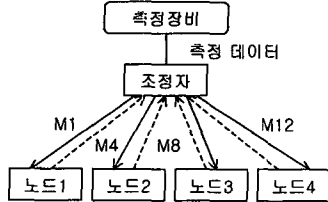
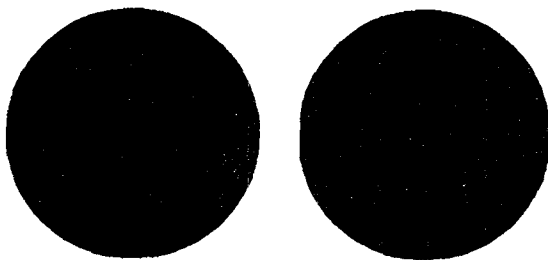


그림 4. 분산 계산에 의한 사전 분석

그룹의 크기를 증가시키려면 여러 프레임에 대해 초기 루프를 수행시켜야 하는데 이는 전체적인 영상복원 시간을 증가시킬 수 있다. 따라서 그림 4에서 보는 바와 같이 조정자가 수집된 프레임들을 구현된 통신 DLL을 통해 각 노드에게 전송하고 각 노드는 자신에게 할당된 프레임들을 초기 루프로써 수행한 다음 이에 의해 물로 판명된 요소들을 보고하도록 한다. 조정자 노드가 수합하여 하나의 그룹으로 결합한다면 계산될 요소의 수가 감소한다. 이후 조정자 노드에서 영상 복원 알고리즘을 수행한다면 그룹 과정 없이 수행하는 것보다 속도의 향상을 기할 수 있다. 특히 대부분의 연산이 복잡도가  $O(n^3)$ 인 행렬 곱하기, 역행렬 계산이므로  $n$  값은 조금만 감소하여도 수행시간의 차이는 크게 나타난다. 이때 통신 오버헤드는 단지 한 프레임의 특정 데이터이므로 각 조정자와 노드간 2 Kbit의 정보를 교환하면 되는데 전체적인 수행시간에 비해 그 크기가 상대적으로 작다. 또 노드의 수가 증가하여도 통신의 오버헤드만 약간 추가되므로 사전 분석 과정의 오버헤드 증가는 없다.



(a) 그룹 1 (b) 그룹 4  
그림 5. 결합된 그룹의 크기

그림 5는 그룹의 결과를 보이고 있는데 그룹 1은 전체 16개의 전극 중 1번 전극의 프레임에 대해서만 초기루프를 수행하여 물로 판명된 요소들만 표현한 것이다(a). 그룹 2는 2 개의 노드가 1, 8번 프레임을, 그룹 3은 4 개의 노드가 1, 4, 8, 12 프레임을, 그룹 4는 8 개의 노드가 8 개의 프레임에 분산 계산에 의해 물의 하나를 그룹으로 묶은 것이다. 그림에서 짙은 부분이 그룹으로 묶인 부분이며 그림 5(b)의 그룹 크기가 그림 5(a)보다 크다. 원래 776 개이던 요소의 수는 각 그룹 계산에 의해 507, 267, 235, 196 개로 감소하며 이에 의해 영상 복원 알고리즘의 수행속도는 표 1에서 보는 바와 같이 개선된다.

표 1. 루프 수행시간의 비교 (단위:초)

	비그룹	그룹4	그룹3	그룹2	그룹1
루프 1	8.313	1.985	2.453	2.661	4.156
루프 2	32.812	1.937	2.469	3.359	15.344
루프 3	35.329	1.938	2.485	3.375	15.328
루프 4	29.796	1.937	2.484	3.375	15.344
루프 5	29.118	1.953	2.469	3.360	15.328

물론 내부 데이터의 특성에 따라 본 논문에서 제시하는 기법의 성능은 영향을 받는다. 예를 들어 여러 기포들이 전극 주변에 위치하고 있다면 오히려 그룹을 계산하는데 필요한 시간이 낭비 시간으로 작용할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 이상유동장 가시화를 위한 ET 기법에서 Matlab을 수행하는 각 노드들이 분산 계산을 수행할 수 있는 환경을 구축하고 프레임의 사전 분석을 각 노드에서 수행하고 조정자 노드로 하여금 이를 수합하도록 함으로써 영상 복원의 속도를 개선하였다. 향후 다양한 기포 분포에 대한 실험이 진행될 것이며 구축된 분산 환경을 기반으로 효율적인 영상복원을 위한 분산 알고리즘을 구현하여 영상 복원 속도를 증진시킬 것이다.

참고문헌

- [1] M. Cheney, et. al., "Electrical impedance tomography," *SIAM Review*, No. 41, pp.85-101, 1999.
- [2] <http://www.mathworks.com>
- [3] 김철민, 이정훈, "이중 CPU PC에서 병렬 계산을 위한 Matlab 행렬 연산 라이브러리의 구현 및 성능 측정," 『정보과학회 추계학술대회(III)』, pp.871-873, 2001년 10월.
- [4] K.H. Cho, et. al, "Impedance imaging of two-phase flow field with mesh grouping algorithm," *Nuclear Engineering and Design*, pp.57-67, 2001.
- [5] 과학기술부, 『이상유동장 가시화를 위한 ET 기법 개발에 관한 연구』, 2001년 7월
- [6] W. Furmanski, "Petaops and exaops: supercomputing on the Web," *IEEE Internet Computing*, pp.38-46, 1997.
- [7] J. Richter, *Advanced Windows*, MS Press., 1996.
- [8] M. Vauhkonen, et. al, "A Kalman filter approach to track fast impedance changes in electrical impedance tomography," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, pp.486-493, 1998.