
멀티스레드 기반 PO법 시뮬레이션

김태용* · 이훈재**

Simulation of PO method based on Multi-thread

Tae Yong Kim* · Hoon-Jae Lee**

지식경제부에서 지원하는 동서대학교 유비쿼터스 어플라이언스 지역혁신센터에서 지원받았음
(과제번호. B0008352)

요 약

현재 범용성이 높은 전자계 시뮬레이터가 널리 보급되어 왔으며, 안테나 설계, EMC 설계, 측정, 초고주파 소자 설계 등에 활용되고 있다. 본 연구에서는 X 밴드 영역에서 다양한 전자계 문제 해석을 목적으로 멀티 코어 기반 PC 자원을 보다 효율적으로 활용하고, 나아가 TCP/IP 기반 네트워크 토폴로지 구성을 통한 효율성 높은 전자계 시뮬레이터 구현을 위한 프레임워크 구축과 구현 방안을 제안하고 그 유효성을 검증하였다.

ABSTRACT

Current general-purpose electromagnetic field simulators have been widespread applied, and is being used to electromagnetic problems such as antenna design, EMC design, measurement, and microwave device design, etc. This paper is to solve various electromagnetic problems in X-band region for utilizing multi-core-based PC available network resources more efficiently. The electromagnetic field simulator based on TCP / IP-based network topology, configuration, and its framework design is proposed and its availability is examined.

키워드

PO법, 프레넬 존 플레이트 렌즈, 멀티스레드, 경계조건

Key word

PO method, Fresnel Zone Plate Lens, Multi-thread, Boundary condition

* 정회원 : 동서대학교(책임저자, tykimw2k@gdsu.dongseo.ac.kr)

** 정회원 : 동서대학교

접수일자 : 2011. 10. 28

심사완료일자 : 2011. 10. 28

I. 서 론

최근 인터넷 및 인트라넷의 보급으로 네트워크 기반에서의 컴퓨팅 환경에 변화가 일어나고 있으며, 서로 다른 동작 플랫폼 사이에서의 분산 컴퓨팅이 가능해지고 있다[1]. 그러나 상이한 동작 플랫폼, 데이터 교환을 위한 통신 프로토콜의 차이 등과 같은 다양한 컴퓨팅 환경 때문에 일관된 컴퓨팅 환경을 구축하는 것은 매우 복잡하고 어려운 작업으로 여겨지고 있다. 그리고 관련 업체 및 표준화 단체에서 분산 컴퓨팅을 위한 표준을 제안하고 있지만 분산 응용 프로그램의 요구가 점차 다양화됨에 따라 보다 일관적이고 플랫폼에 독립적인 개발 환경을 필요로 하게 되었다.

Java 언어가 등장하면서 분산 응용프로그램 개발자들은 이러한 개발 환경을 제공 받을 수 있는 기회를 갖게 되었다. Java언어가 제공하는 엔터프라이즈 플랫폼은 분산 컴퓨팅을 위한 다양한 API를 제공하며 응용 프로그램의 생산성 향상 및 플랫폼 독립성을 제공한다[2,3].

최근 안테나, 통신 디바이스 및 전자기기에 대한 고도의 집적화 과정을 통하여 소형화 및 고주파 응용이 가능해지고 있다[4,5]. 그러나 관심 주파수 대역이 높아짐에 따라 문제의 규모는 상대적으로 커지고 있어 단일 PC상에서 수치해석 알고리즘을 실현하고 설계에 적용하는 것은 많은 제약이 따른다. 따라서 설계 및 해석 대상으로 하는 문제의 규모에 관계없이 메모리의 공유, 데이터의 효율적 교환, 분산처리를 통한 연산 수행 등이 가능한 분산 컴퓨팅 환경의 구축이 필요하다[5].

본 연구에서는 프레넬 존 플레이트 안테나와 같은 대규모 안테나 설계 문제를 네트워크 기반에서 효율적으로 해석할 수 있는 시뮬레이터 개발을 목적으로 통신 프로토콜, 데이터 공유 방법 및 구현 방법을 구체화시키는데 있다. Java 언어에서 제공하는 스레드(Thread)를 기반으로 원격지에 있는 유휴 PC 자원을 활용하는 의미에서 연산 수행에 필요한 태스크를 네트워크를 경유하여 공유하는 방식으로 분산 컴퓨팅이 가능한 병렬처리 방안을 제시하고 그 유효성을 검증하고자 한다.

II. PO법(물리광학 근사)

물리광학 근사법(PO: Physical Optics)은 산란체(scatterer)의 표면에 입사되는 전자계 및 면 전류만이 기여하고, 전자계(Total electromagnetic fields)는 산란체의 표면에서 경계조건을 만족시키도록 근사적으로 해석이 가능한 수법이다[4]. 따라서 그림 1에서 나타난 전계 $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ 는 산란체의 표면에서 입사전계 $\mathbf{E}^i(\mathbf{r})$ 와 산란전계 $\mathbf{E}^s(\mathbf{r})$ 사이에서 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}^i(\mathbf{r}) + \mathbf{E}^s(\mathbf{r}) \quad (1)$$

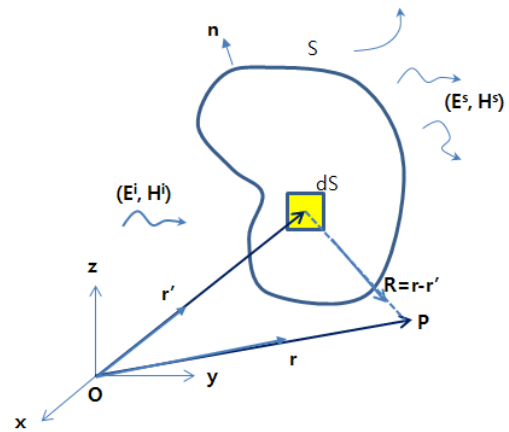


그림 1. 임의의 산란체와 전자계
Fig. 1 Arbitrary scatterer and electromagnetic fields

또한 산란체의 표면에 입사되는 전계 $\mathbf{E}^i(\mathbf{r})$ 에 의해서 도체 표면에 유기되는 표면 전류 $\mathbf{J}_s(\mathbf{r})$ 는 다음과 같이 근사적으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{J}_s(\mathbf{r}) \cong \mathbf{J}_s^{GO}(\mathbf{r}') = \begin{cases} 2\mathbf{n}' \times \mathbf{H}^i(\mathbf{r}') & \in \text{illumination} \\ 0 & \in \text{shadow} \end{cases} \quad (2)$$

이로부터 산란전계 $\mathbf{E}^s(\mathbf{r})$ 과 $\mathbf{H}^s(\mathbf{r}')$ 는 다음과 같이 근사하여 계산할 수 있다.

$$\mathbf{E}^s(\mathbf{r}) = \frac{jk\eta}{4\pi} \int_s \mathbf{R} \times \mathbf{R} \times (2\mathbf{n}' \times \mathbf{H}^i(\mathbf{r}')) \frac{e^{-jkR}}{R^3} dS \quad (3)$$

$$\mathbf{H}^i(\mathbf{r}') = \frac{E_0}{\eta_0} (-\sin\psi^i, \cos\psi^i, 0) e^{-j\mathbf{k} \cdot \boldsymbol{\rho}'} \quad (4)$$

입사계와 산란 전계는 식 (3)과 (4)를 이용하여 입의 산란체를 대상으로 표면적분을 통하여 계산이 가능하다. 그러나 산란체 표면 전체에 대하여 면적분을 수행할 경우, 관심 주파수가 밀리미터파 이상이고 산란체의 규모가 클수록 적분에 소요되는 계산시간은 증가하게 되며 많은 메모리 공간이 필요하게 된다. 본 연구에서는 효율적으로 산란체에 유기되는 면전류(Surface current density)를 계산하기 위해서 가우스 적분을 이용하였다.

III. 자바 스레드 기반 계산 알고리즘

본 연구에서는 Java 언어에서 제공하는 스레드를 활용하여 메시지 패싱 모델(Message Passing Model)을 채용하여 연산에 필요한 자원을 네트워크에 존재하는 유휴 PC 자원으로 작업요청을 하고, 그 결과를 취합하여 고속으로 연산을 수행할 수 있는 병렬처리 플랫폼 구축을 목적으로 한다.

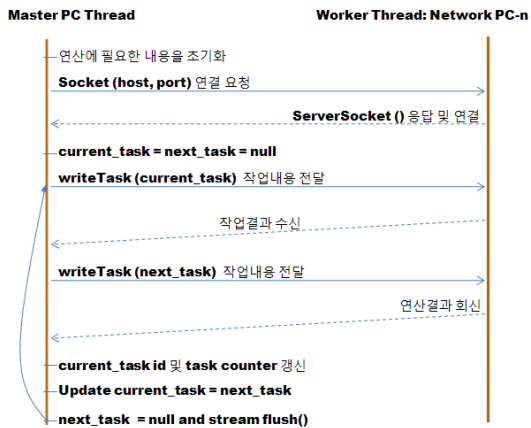


그림 2. 네트워크 기반 작업 분배
Fig. 2 Task distribution based network

입의 산란체를 대상으로 PO법을 적용하여 전자계를 계산하는 알고리즘은 주로 면적분에 소요된다. 따라서

스레드 기반 병렬화를 통하여 문제의 초기화를 제외한 나머지 축차연산 과정을 하나의 작업 태스크 영역으로 분리하고, 이를 원격지에 있는 네트워크 자원에 연산 요청을 하여 그 결과를 받아오는 것이 바람직하다. 각 작업 단위의 규모와 분할방법에 따라서 연산의 규모가 결정될 수 있으며 작업의 병렬화를 통한 고속화 연산이 가능하다. 이를 실현하기 위한 서버스레드 PC와 클라이언트 PC 사이의 통신 프로토콜은 그림 2와 같이 수행된다[5]. 그림 1의 영역은 면적분 계산을 위해 사각형 요소 단위로 이산화를 수행하고, 각 행 단위로 작업 태스크를 정의하여 네트워크 자원들에게 작업 요청을 할 수 있다.

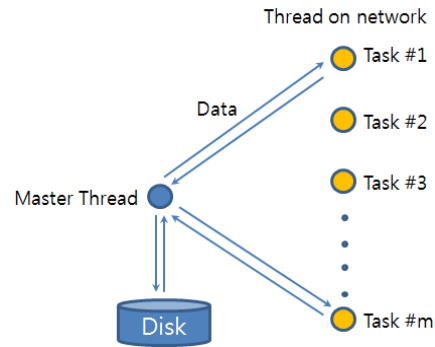


그림 3. 마스터-슬레이브 모델에서의 데이터 흐름
Fig. 3 Data flow in Master-slave model

네트워크에 존재하는 PC 자원들은 이들 작업 태스크를 기본 단위로 요청받고, 구축된 계산 알고리즘을 수행하여 작업결과를 처리하여 마스터 PC로 반환하게 된다(그림 3 참조). 여기서 마스터 PC의 역할은 네트워크 PC 자원들에게 작업을 분배하고 이를 취합하는 역할을 수행하게 된다. 또한 네트워크에 있는 PC 자원들은 별도의 스레드 단위로 대기하고 있다가 마스터 PC의 작업요청에 응답하는 클라이언트 역할을 담당하게 된다(그림 2 참조).

최근 멀티코어 프로세서들이 범용 PC 뿐만 아니라 임베디드 시스템에 탑재되어 그 사용이 보편화되고 있다. 본 연구에서 제시하는 병렬화 방안에 대한 성능을 시험하기 위해서는 그림 4 및 5와 같은 실험환경을 이용할 수 있다.

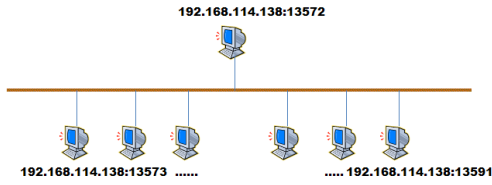


그림 4. 단일 PC에서 멀티 스레드 이용
Fig. 4 Multi-threads on single PC

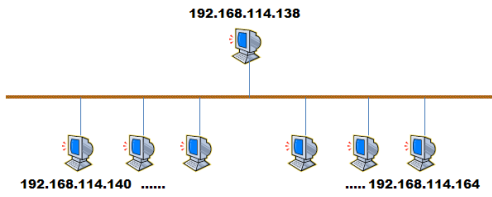


그림 5. 네트워크 기반 실험 모델
Fig. 5 Experiment model on network

그림 4는 쿼드코어(Quad core) PC에서 네트워크의 클라이언트 PC들의 역할을 멀티 스레드 환경으로 대체할 수 있음을 의미한다. 일반적으로 CPU의 성능은 최대 성능을 발휘하지 못하고 있으며, CPU 코어의 개수가 많다고 해서 모든 코어의 기능을 활용할 수 없다. 이때 연산에 참여하는 스레드의 개수에 의존하여 연산 수행 시간을 경감시키는 방법으로 단일 PC에서의 병렬화 구현이 가능하다. 단 발생시키는 스레드의 개수가 CPU의 코어의 수를 초과하여 사용되는 경우에는 원하는 병렬화를 기대하기 힘들다.

두 번째 실험환경(그림 5)은 네트워크에 필요한 PC 자원들이 동일 네트워크 그룹에 존재한다고 가정할 수 있다. 이는 일반적인 인터넷과 같은 네트워크로 확장이 가능하지만 실험환경의 편의성을 고려하여 연산에 참여 가능한 PC들은 동일 네트워크 그룹으로 제한하였다. 이 경우에는 마스터 PC에서 분배하는 각 태스크의 요청 작업을 클라이언트 PC들이 분배받아 각 적분연산을 처리한 뒤 그 결과를 반환하는 형태이다.

IV. 실험 결과

본 연구에서 제안하는 수법의 유효성을 검증하기 위하여 프레넬 존 플레이트 렌즈 안테나를 대상으로 PO법

을 적용하여 실험을 수행하였다.

기존의 Soret 타입 프레넬 존 플레이트 렌즈 안테나(FZPL)의 기하학적 구조는 그림 6과 같으며, 각 존을 구성하는 식은 다음과 같다[6-9].

$$R_j^{in} = \sqrt{(F + j\lambda + \lambda/4)^2 - F^2} \quad (1)$$

$$R_j^{out} = \sqrt{(F + (j - 0.5)\lambda + \lambda/4)^2 - F^2} \quad (2)$$

여기서 R 은 각 존을 구성하는 내부 및 외곽의 반경을 의미하며, F 는 설계 초점거리, j 는 각 존의 번호, λ 는 파장을 나타낸다.

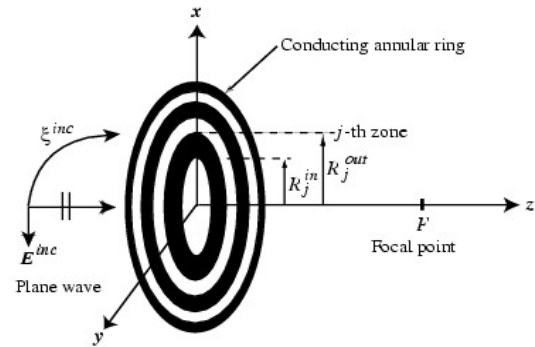


그림 6. FZPL 안테나의 기하학적 모델
Fig. 6 Geometrical model of FZPL antenna

그림 6에서 초점거리 F 위치에 수신 혼 안테나를 위치시키면 위성으로부터의 신호를 최대 감도로 수신할 수 있다. 본 연구에서는 9GHz에서 동작하는 FZPL(Fresnel Zone Plate Lens) 안테나를 대상으로 초점 거리 0.5m, 각 존의 수는 5개, 25개로 구분하여 실험을 수행하였다. 그리고 입사 전계는 그림 6에서 보는바와 같이 렌즈면의 좌측에서 도래하는 것으로 가정하였으며($\xi^{inc} = 180^\circ$; E_y polarized wave), 관측은 $x-z$ 면에서 근방계를 계산하였다. 이때 입사전계의 전력은 1W로 가정하였다. 그리고 계산에 이용한 컴퓨팅 환경은 표 1과 같다.

먼저 그림 4에 나타난 계산모델을 기준으로 단일 PC 상에서 5개의 존을 가지는 FZPL 안테나를 대상으로 계산한 결과는 그림 7과 같다. 이때 설계 초점거리 F 는 0.5m이며, 계산 결과에서도 설계 초점위치에서 이득이 최대화되는 것을 확인할 수 있다. 이것은 프레넬 호이젠

스의 원리에 의해 각 존을 통과한 전계 성분이 초점거리 위치에 집중된 결과로서, 수신전용 안테나로 이용하는 경우에는 초점거리 근방에 수신전용 혼 안테나를 설치함으로써 이용 가능함을 보여준다.

다음으로 실험에 이용한 PC의 CPU는 쿼드 코어 프로세스를 장착하고 있으므로 단독으로 PO법을 적용한 경우와 코어의 개수에 맞춰 실험을 수행하였다. FZPL의 프레넬 존 수는 25개로 늘리고, 초점거리는 0.5m로 설정하여 실험을 수행한 결과는 그림 8과 같다. 이때 병렬화를 위한 작업 태스크는 321개로 분할되고, 마스터 스레드에 의해 각 슬레이브 스레드에게 작업을 분담하였다.

그림 7에서의 결과와 마찬가지로 초점거리 위치에서 이득이 최대가 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7에서의 결과와 비교되는 것은 각 존의 수가 증가한 것만큼 전계 성분이 초점거리 위치로 모이고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 광학렌즈에서 여러 개의 렌즈를 사용하면 보다 많은 빛을 모을 수 있는 원리와 같다.

표 1. 컴퓨팅 조건
Table. 1 Computing specification

CPU	Intel Core(TM)2 Quad CPU 2.40GHz
RAM	2.0GB
OS	Windows 7 Professional K SP1
Java	JDK 1.6.0_29

표 2. 계산시간 결과 비교
Table. 1 Computing time for comparison

CPU core 수	계산시간(sec)	단독실행(sec)
1	147.03	139.839
2	76.112	
3	53.213	
4	45.521	

또한 여러 개의 스레드를 이용한 계산이 병렬화 효과를 가질 수 있는지 확인하기 위하여 동일 PC 환경에서 스레드 발생 수에 따른 계산시간을 검토한 결과는 표 2에 나타내었다.

표에서 알 수 있듯이 쿼드 코어 CPU의 경우, 스레드 4개를 이용한 경우에는 계산 시간이 스레드와 무관하게 단독 실행을 한 경우와 비교하여 약 3배의 성능 개선을 나타내었다. 이를 Amdahl의 법칙[10]에 의거하여 계

산하면 속도 개선은 $S_n = t_1/t_n = 3.072$ 이라는 것을 의미한다.

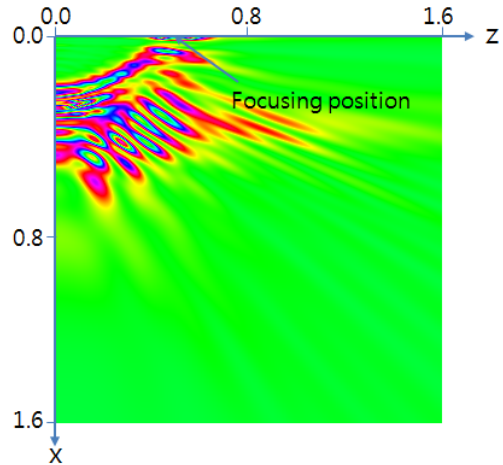


그림 7. FZPL 계산결과(존 수: 5개, $F=0.5m$)
Fig. 7 Computing result for FZPL(Num. of zone: 5, $F=0.5m$)

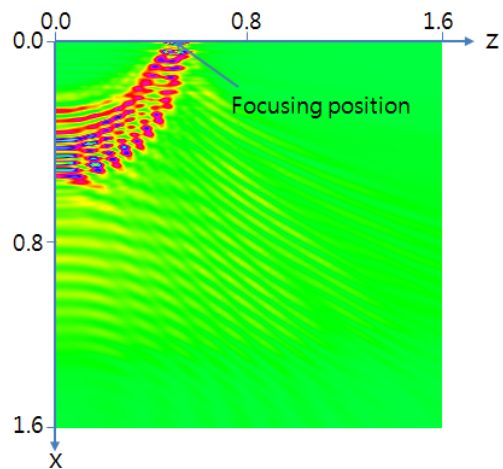


그림 8. FZPL 계산결과(존 수: 25개, $F=0.5m$)
Fig. 8 Computing result for FZPL(Num. of zone: 25, $F=0.5m$)

이상적인 경우라면 발생시키는 스레드의 수에 비례하여 계산시간의 단축이 기대되지만, 마스터 스레드를 중심으로 계산에 참여하는 각 스레드와의 데이터 교환(message passing)에 소비되는 시간을 고려하면 상당한

개선 효과를 나타낸 것으로 보인다. 재미있는 사실은 PC에서 단독으로 실행한 계산시간은 139.839sec이지만, 마스터-슬레이브 모델을 적용하여 두 개의 스레드를 이용하여 계산한 경우에는 147.03초가 소요되었다. 이것은 마스터 스레드와 슬레이브 스레드 사이에서 데이터 패킷을 주고 받는 과정에서 허비된 시간만큼 차이가 발생한 것으로 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 전자계 문제 해석을 위한 수단으로서 PC의 성능을 최대한 이용하고 네트워크 환경에서는 유희 컴퓨팅 자원을 효과적으로 이용할 수 있는 스레드 기반 병렬화 방안을 제시하였다. 병렬화 효과를 확인하기 위하여 프레넬 존 플레이트 안테나 문제를 대상으로 PO법을 적용하여 문제를 해석하고 그 유효성을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 스레드 기반 데이터 통신 프로토콜을 기반으로 임의 구조를 가지는 전자계 산란체로부터의 전파 모델링이 가능하며, FEM(Finite Element Method), MoM(Method of Moments) 및 BEM(Boundary Element Method) 등의 해석방법의 경우에는 지배방정식을 위한 과도한 시스템 행렬의 확보에 따른 대규모 문제 적용에 대한 제약사항을 회피하는 수단으로서도 유력한 수법이라고 판단된다.

향후 연구과제로서 일반화된 인터넷 환경에서 대규모 전자계 문제를 해석하기 위한 프레임워크 기반 시뮬레이터 개발이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부에서 지원하는 동서대학교 유비쿼터스 어플라이언스 지역혁신센터에서 지원받았음(과제번호. B0008352)

참고문헌

- [1] <http://www.koreaathome.org/>(코리아애틀홈)
- [2] <http://www.oracle.com/technetwork/java/index.html>.
- [3] 강철구 역, 멀티코어를 100% 활용하는 자바 병렬프로그래밍, 에이콘, 2008.
- [4] Lal Chand Godara, Handbook of Antennas in Wireless Communications, CRC Press, 2002.
- [5] 김태용, “자바 스레드와 네트워크 자원을 이용한 병렬처리,” 한국항행학회 논문지 제 14권 제 6호, pp. 984-989, 2010.
- [6] H. D. Hristov, Fresnel Zones in wireless links, zone plate lenses and antennas, Artech House.
- [7] F. A. Jenkins and H. E. White, Fundamentals of optics, McGRAW-HILL.
- [8] 김태용, 조형국 “TLM법을 이용한 Soret 타입 프레넬 존 플레이트 렌즈 안테나 해석,” 한국해양정보통신학회 논문지, 제 15권 제 6호, pp. 1221-1226, June, 2010.
- [9] T. Y. Kim, Y. Kagawa, and Ling Yun Chai, “Modelling of a circular Fresnel zone plate lens for electromagnetic wave antenna application,” Int. J. Numer. Model., Vol. 18, pp. 429-439, 2005.
- [10] Yagawa Genki and Sioya Ryuji, 초병렬 유한요소 해석(일본어판), 아사쿠라서점(1998).

저자소개

김태용(Tae Yong Kim)

한국해양정보통신학회논문지
제 12권 12호 참조

이훈재(Hoon-Jae Lee)

한국해양정보통신학회논문지
제 15권 제10호 참조