



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년11월22일
(11) 등록번호 10-1678683
(24) 등록일자 2016년11월16일

- | | |
|--|--|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
<i>G01R 23/16</i> (2006.01) <i>G06F 9/38</i> (2006.01)
(52) CPC특허분류
<i>G01R 23/16</i> (2013.01)
<i>G01R 29/08</i> (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0116987
(22) 출원일자 2015년08월19일
심사청구일자 2015년08월19일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020120057274 A
JP2006139723 A
JP3860514 B2
KR1020080036525 A | (73) 특허권자
한양대학교 산학협력단

(72) 발명자
정경영

하상규

(74) 대리인
홍성욱, 심경식 |
|--|--|

전체 청구항 수 : 총 12 항

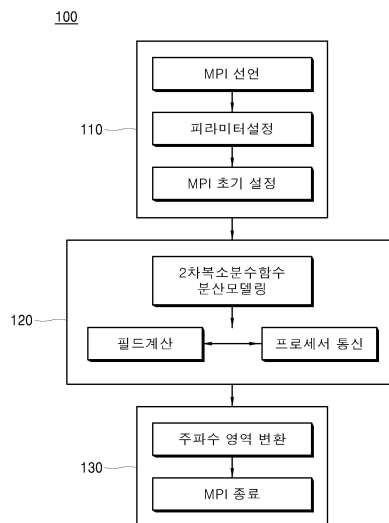
심사관 : 오경환

(54) 발명의 명칭 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치는 MPI(Message Passing Interface) 라이브러리를 이용하기 위한 MPI 라이브러리 선언, MPI 초기화, 및 구조 모델링에 따른 전자기파 해석 영역의 공간 격자 크기, 시간 간격, 소스원의 종류, 프로세서의 식별번호 중 적어도 하나를 포함하는 파라미터의 설정을 수행하는 입력부; 2차복소분수함수 분산 모델링 및 상기 MPI 라이브러리를 기반으로 하는 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용하여 전자기파 해석을 위한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 처리부; 및 상기 각 필드 성분을 푸리에 변환을 이용하여 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환하는 후처리부를 포함한다.

대표도 - 도1



- (52) CPC특허분류
G06F 9/3867 (2013.01)
- (72) 발명자
박성민

추호성

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

MPI(Message Passing Interface) 라이브러리를 이용하기 위한 MPI 라이브러리 선언, MPI 초기화, 및 구조 모델링에 따른 전자기파 해석 영역의 공간 격자 크기, 시간 간격, 소스원의 종류, 프로세서의 식별번호 중 적어도 하나를 포함하는 파라미터의 설정을 수행하는 입력부;

2차복소분수함수 분산 모델링 및 상기 MPI 라이브러리를 기반으로 하는 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용하여 전자기파 해석을 위한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 처리부; 및

상기 각 필드 성분을 푸리에 변환을 이용하여 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환하는 후처리부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 처리부는

유전물질의 분산 특성을 나타내는 구성관계식(constitutive relation)을 푸리에 역변환 및 중심차분법을 이용하여 정리하여 전기장에 관한 업데이트 방정식으로 표현하는 제1 처리부;

시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 자기장과 전기장의 관계식으로 자기장에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 상기 유전물질의 분산 특성을 고려하여 상기 자기장에 관한 업데이트 방정식을 상기 유전물질의 분산 특성과 상기 자기장의 관계식으로 표현하는 제2 처리부; 및

시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 상기 유전물질의 분산 특성에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 메모리 요구량 개선을 위해 상태공간 신호처리(state-space)를 이용하여 상기 전기장에 관한 업데이트 방정식을 다시 표현하는 제3 처리부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 전자기파 해석 영역이 상기 공간 격자 크기 단위로 분할되고, 상기 분할된 복수의 공간 격자 각각이 대응되는 복수의 프로세서에게 할당될 때,

상기 처리부는

상기 복수의 프로세서 중 하나가 상기 업데이트 방정식의 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 있어 필요한 다른 필드 성분에 대한 정보를 가지고 있지 않은 경우에는 MPI 라이브러리의 병렬 통신 함수를 이용하여 이웃한 다른 프로세서와 통신을 수행하도록하여 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 필요한 다른 필드 성분을 송수신하여 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하도록 제어하는것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전자기파 해석 영역의 3차원 공간 분할 시, 상기 공간 격자의 모양을 최대한 정육면체에 가깝게 분할하는 전처리부

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 전처리부는

상기 전자기파 해석 영역에 적용할 프로세서의 개수를 결정하고, 상기 프로세서의 개수를 인수분해 하여 도출된 인수들을 조합하여 x, y, z축 각각에게 분배한 후, 상기 x, y, z축 각각에게 분배된 인수에 기초하여 상기 전자기파 해석 영역을 x, y, z축으로 분할하여 상기 각각의 공간 격자를 생성하고,

상기 처리부는

상기 각 공간 격자별로 해당하는 프로세서를 매칭하여 상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 전처리부는

상기 x, y, z축 각각에게 분배되는 인수의 크기가 최대한 유사하도록 상기 인수들을 조합하여 상기 x, y, z축에 분배하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치.

청구항 7

초고속 전자기파 해석 장치에서, MPI(Message Passing Interface) 라이브러리를 이용하기 위한 MPI 라이브러리 선언, MPI 초기화, 및 구조 모델링에 따른 전자기파 해석 영역의 공간 격자 크기, 시간 간격, 소스원의 종류, 프로세서의 식별번호 중 적어도 하나를 포함하는 파라미터의 설정을 수행하는 단계;

상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 2차복소분수함수 분산 모델링 및 상기 MPI 라이브러리를 기반으로 하는 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용하여 전자기파 해석을 위한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계; 및

상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 상기 각 필드 성분을 푸리에 변환을 이용하여 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 유전물질의 분산 특성을 나타내는 구성관계식(constitutive relation)을

푸리에 역변환 및 중심차분법을 이용하여 정리하여 전기장에 관한 업데이트 방정식으로 표현하는 단계;

상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 자기장과 전기장의 관계식으로 자기장에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 상기 유전물질의 분산 특성을 고려하여 상기 자기장에 관한 업데이트 방정식을 상기 유전물질의 분산 특성과 상기 자기장의 관계식으로 표현하는 단계; 및

상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 상기 유전물질의 분산 특성에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 메모리 요구량 개선을 위해 상태공간 신호처리(state-space)를 이용하여 상기 전기장에 관한 업데이트 방정식을 다시 표현하는 단계

를 더 포함하고,

상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계는

상기 다시 표현된 전기장에 관한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계인 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 전자기파 해석 영역이 공간 격자 크기 단위로 분할되고, 상기 분할된 복수의 공간 격자 각각이 대응되는 복수의 프로세서에게 할당될 때,

상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계는

상기 복수의 프로세서 중 하나가 상기 업데이트 방정식의 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 있어 필요한 다른 필드 성분에 대한 정보를 가지고 있지 않은 경우에는 MPI 라이브러리의 병렬 통신 함수를 이용하여 이웃한 다른 프로세서와 통신을 수행하도록하여 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 필요한 다른 필드 성분을 송수신하여 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하도록 제어하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 상기 전자기파 해석 영역의 3차원 공간 분할 시, 상기 공간 격자의 모양을 최대한 정육면체에 가깝게 분할하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 분할하는 단계는

상기 전자기파 해석 영역에 적용할 프로세서의 개수를 결정하는 단계;

상기 프로세서의 개수를 인수분해 하여 도출된 인수들을 조합하여 x, y, z축 각각에게 분배하는 단계; 및

상기 x, y, z축 각각에게 분배된 인수에 기초하여 상기 전자기파 해석 영역을 상기 x, y, z축으로 분할하여 상기 각각의 공간 격자를 생성하는 단계를 포함하고,

상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계는

상기 각 공간 격자별로 해당하는 프로세서를 매칭하여 상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 분배하는 단계는

상기 x, y, z축 각각에게 분배되는 인수의 크기가 최대한 유사하도록 상기 인수들을 조합하여 상기 각 공간 격자의 x, y, z축에 분배하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 실시예들은 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근 고령화 사회 진입 및 건강에 대한 관심의 증가로, 전자파를 기본으로 한 정보 기술과 의료 기술의 융합에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 휴대폰에서 발생하는 전자파의 인체 흡수 전력량과 온도 상승량, 광대역 전자파 노출에 대한 인체의 영향 등 바이오 관련 기술에 대하여 유한 차분 시간 영역법(FDTD: Finite-Difference Time-Domain)가 적용되었다. FDTD는 행렬 계산이 필요하지 않으며, 한 번의 시뮬레이션으로 매우 넓은 주파수 대역의 특성을 알 수 있는 장점이 있다. 또한, FDTD는 Maxwell Curl 방정식을 직접 이산화 하므로 복잡하고 다양한 구조를 모델링하기에 매우 용이하므로 현재 바이오 기술은 물론 나노 기술 및 에너지 기술에서도 많이 사용되고 있다.

[0004] 인체 조직은 주파수에 따라 유전율이 변화하는 분산 특성을 가지고 있다. 1996년, Gabriel에 의해 인체 조직의 전기적 특성이 데이터화되었으며, 10 Hz~100 GHz에서 분산 특성을 표현하기 위해 4차 Cole-Cole 모델을 사용하였다. 하지만, 4차 Cole-Cole 모델을 시간 영역 전자파 수치 해석 기법인 FDTD에 적용하기 위해서는 업데이트 하여야 할 필드 성분들이 엄청나게 증가하게 되어 계산 효율(메모리 및 계산 시간)이 현저하게 떨어진다.

[0005] 한편, 계산 효율을 개선하기 위하여 1차 Cole-Cole 모델을 FDTD에 적용하는 연구들이 발표되었으나, 여전히 상당량의 계산 시간과 메모리가 요구된다. 또한, 1차 Debye 모델은 UWB 대역(3.1~10.6 GHz)에서 인체 조직의 분산 특성을 잘 표현하나, 2.5 GHz 이하의 주파수에서는 인체 분산 특성의 변화가 매우 크므로 사용할 수 없다. 도체 손실을 포함하지 않는 2차 Debye 모델은 DC~1.5 GHz 대역까지 모델링이 가능하지만 정확도가 떨어지며, 도체 손실을 포함한 2차 Debye 모델은 계수를 찾기 위해 비선형 최적화 문제를 풀어야 하기 때문에 초기값들이 적절하지 않으면 정확한 모델링이 불가능하다는 단점이 있다.

[0006] 관련 선행기술로는 공개특허공보 제10-2002-0082665호(발명의 명칭: 매설형 광대역 복소 유전율 측정 방법 및 장치, 공개일자: 2002년 10월 31일)가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 일 실시예는 2차복소분수함수 분산 모델링 및 MPI 라이브러리를 기반으로 하는 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용하여 전자기파 해석을 위한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하여 주파수 영역으로 변환함으로써, 전자기파 해석 영역의 분할된 공간에 대한 연산 시간을 줄여 전자기파 해석 소요 시간을 감소시킬 수 있는 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자

기과 해석 장치 및 방법을 제공한다.

[0010] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치는 MPI(Message Passing Interface) 라이브러리를 이용하기 위한 MPI 라이브러리 선언, MPI 초기화, 및 구조 모델링에 따른 전자기파 해석 영역의 공간 격자 크기, 시간 간격, 소스원의 종류, 프로세서의 식별번호 중 적어도 하나를 포함하는 파라미터의 설정을 수행하는 입력부; 2차복소분수함수 분산 모델링 및 상기 MPI 라이브러리를 기반으로 하는 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용하여 전자기파 해석을 위한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 처리부; 및 상기 각 필드 성분을 푸리에 변환을 이용하여 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환하는 후처리부를 포함한다.

[0013] 상기 처리부는 유전물질의 분산 특성을 나타내는 구성관계식(constitutive relation)을 푸리에 역변환 및 중심차분법을 이용하여 정리하여 전기장에 관한 업데이트 방정식으로 표현하는 제1 처리부; 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 자기장과 전기장의 관계식으로 자기장에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 상기 유전물질의 분산 특성을 고려하여 상기 자기장에 관한 업데이트 방정식을 상기 유전물질의 분산 특성과 상기 자기장의 관계식으로 표현하는 제2 처리부; 및 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 상기 유전물질의 분산 특성에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 메모리 요구량 개선을 위해 상태공간 신호처리(state-space)를 이용하여 상기 전기장에 관한 업데이트 방정식을 다시 표현하는 제3 처리부를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 전자기파 해석 영역이 공간 격자 크기 단위로 분할되고, 상기 분할된 복수의 공간 격자 각각이 대응되는 복수의 프로세서에게 할당될 때, 상기 처리부는 상기 복수의 프로세서 중 하나가 상기 업데이트 방정식의 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 있어 필요한 다른 필드 성분에 대한 정보를 가지고 있지 않은 경우에는 MPI 라이브러리의 병렬 통신 함수를 이용하여 이웃한 다른 프로세서와 통신을 수행하도록하여 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 필요한 다른 필드 성분을 송수신하여 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하도록 제어할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치는 상기 전자기파 해석 영역의 3차원 공간 분할 시, 상기 공간 격자의 모양을 최대한 정육면체에 가깝게 분할하는 전처리부를 더 포함할 수 있다.

[0015] 상기 전처리부는 상기 전자기파 해석 영역에 적용할 프로세서의 개수를 결정하고, 상기 프로세서의 개수를 인수 분해하여 도출된 인수들을 조합하여 x, y, z축 각각에게 분배한 후, 상기 x, y, z축 각각에게 분배된 인수에 기초하여 상기 전자기파 해석 영역을 x, y, z축으로 분할하여 상기 각각의 공간 격자를 생성하고, 상기 처리부는 상기 각 공간 격자별로 해당하는 프로세서를 매칭하여 상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산할 수 있다. 상기 전처리부는 상기 x, y, z축 각각에게 분배되는 인수의 크기가 최대한 유사하도록 상기 인수들을 조합하여 상기 x, y, z축에 분배할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법은 초고속 전자기파 해석 장치에서, MPI(Message Passing Interface) 라이브러리를 이용하기 위한 MPI 라이브러리 선언, MPI 초기화, 및 구조 모델링에 따른 전자기파 해석 영역의 공간 격자 크기, 시간 간격, 소스원의 종류, 프로세서의 식별번호를 포함하는 파라미터의 설정을 수행하는 단계; 상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 2차복소분수함수 분산 모델링 및 상기 MPI 라이브러리를 기반으로 하는 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용하여 전자기파 해석을 위한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계; 및 상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 상기 각 필드 성분을 푸리에 변환을 이용하여 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법은 상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 유전물질의 분산 특성을 나타내는 구성관계식(constitutive relation)을 푸리에 역변환 및 중심차분법을 이용하여 정리하여 전기장에 관한 업데이트 방정식으로 표현하는 단계; 상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 자기장과 전기장의 관계식으로 자기장에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 상기 유전물질의 분산 특성을 고려하여 상기 자기장에 관한 업데이트 방정식을 상기 유전물질의 분산 특성과 상기 자기장의 관계식으로 표현하는 단계; 및 상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 상기 유전물질의 분산 특성에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 메모리 요구량 개선을 위해 상태공간 신호처리(state-space)를 이용하여 상기 전기장에 관한 업데이트 방정식을 다시 표현하는 단계를 더 포함하고, 상기 업데이트 방정식의 각

필드 성분을 계산하는 단계는 상기 다시 표현된 전기장에 관한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계일 수 있다.

[0017] 상기 전자기파 해석 영역이 공간 격자 크기 단위로 분할되고, 상기 분할된 복수의 공간 격자 각각이 대응되는 복수의 프로세서에게 할당될 때, 상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계는 상기 복수의 프로세서 중 하나가 상기 업데이트 방정식의 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 있어 필요한 다른 필드 성분에 대한 정보를 가지고 있지 않은 경우에는 MPI 라이브러리의 병렬 통신 함수를 이용하여 이웃한 다른 프로세서와 통신을 수행하도록하여 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 필요한 다른 필드 성분을 송수신하여 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하도록 제어하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 따른 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법은 상기 초고속 전자기파 해석 장치에서, 상기 전자기파 해석 영역의 3차원 공간 분할 시, 상기 공간 격자의 모양을 최대한 정육면체에 가깝게 분할하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0019] 상기 분할하는 단계는 상기 전자기파 해석 영역에 적용할 프로세서의 개수를 결정하는 단계; 상기 프로세서의 개수를 인수분해 하여 도출된 인수들을 조합하여 x, y, z축 각각에게 분배하는 단계; 및 상기 x, y, z축 각각에게 분배된 인수에 기초하여 상기 전자기파 해석 영역을 상기 x, y, z축으로 분할하여 상기 각각의 공간 격자를 생성하는 단계를 포함하고, 상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계는 상기 각 공간 격자별로 해당하는 프로세서를 매칭하여 상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 분배하는 단계는 상기 x, y, z축의 각각에게 분배되는 인수의 크기가 최대한 유사하도록 상기 인수들을 조합하여 상기 x, y, z축에 분배하는 단계를 포함할 수 있다.

[0021] 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 첨부 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 2차복소분수함수 분산 모델링 및 MPI 라이브러리를 기반으로 하는 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용하여 전자기파 해석을 위한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산하여 주파수 영역으로 변환함으로써, 전자기파 해석 영역의 분할된 공간에 대한 연산 시간을 줄여 전자기파 해석 소요 시간을 감소시킬 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상태공간 신호처리(state-space)를 이용하여 전기장에 대한 업데이트 방정식을 표현함으로써 메모리 요구량을 개선할 수 있다. 예를 들어, 기존 알고리즘 대비 메모리 효율이 20% 개선될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치를 설명하기 위해 도시한 블록도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 있어서 MPI 라이브러리를 이용한 병렬 처리 프로그램을 구동하기 위한 기본 흐름도를 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 있어서 MPI 라이브러리의 병렬 통신 함수를 이용한 프로세서 간 통신 방법을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 있어서 병렬 처리 시 프로세서 간 통신의 필요성을 설명하기 위해 1차원 MPI-FDTD에서의 데이터 통신 과정의 일례를 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 있어서 3차원 공간 분할을 위한 인수분해 알고리즘을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 있어서 MPI-QCRF-FDTD를 이용한 시뮬레이션에 따라 CPU 개수 증가에 따른 속도 향상 증가 효과를 나타낸 도면이다.

도 7은 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 본 발명의 이점 및/또는 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.
- [0029] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 장치를 설명하기 위해 도시한 블록도이다.
- [0031] 도 1을 참조하면, 상기 초고속 전자기파 해석 장치(100)는 입력부(110), 처리부(120) 및 후처리부(130)를 포함한다.
- [0032] 상기 입력부(110)는 MPI(Message Passing Interface) 라이브러리를 이용하기 위한 MPI 라이브러리 선언, MPI 초기화, 및 파라미터의 설정을 수행한다. 여기서, 상기 파라미터는 구조 모델링에 따른 전자기파 해석 영역의 공간 격자 크기, 시간 간격, 소스원의 종류, 프로세서의 식별번호 등을 포함한다.
- [0033] 상기 구조 모델링은 상기 전자기파 해석 영역의 대상물에 대해 그 구조를 물리적 모델링 방식을 이용하여 모델링하는 것이고, 상기 공간 격자 크기는 상기 전자기파 해석 영역을 복수의 공간 격자로 분할할 때의 각 공간 격자의 크기를 나타낸다. 이때, 본 발명의 일 실시예에 따르면 CPU의 개수와 인수분해 알고리즘에 기초하여 전자기파 해석 영역을 복수의 공간 격자로 분할할 수 있고 이에 따라 공간 격자 각각의 크기가 결정될 수 있는데, 이에 대해서는 도 5를 참조하여 후술한다.
- [0034] 상기 시간 간격은 시간에 대해 적분해 가면서 처리할 수 있는 연산 시간의 간격으로서, 그 간격이 짧을수록 전자기파 해석을 보다 자세히 할 수 있는 대신 연산 시간이 증가하며 그 간격이 길수록 전자기파 해석의 정확도는 떨어지지만 연산 시간은 감소하게 된다. 따라서, 상기 시간 간격은 전자기파 해석의 정확도와 연산 시간을 모두 고려하여 설정되는 것이 바람직하다.
- [0035] 상기 소스원의 종류로는 가우시안 펄스, 미분형 가우시안 펄스, 변형된 가우시안 펄스 등이 있으며, 이 중 어느 하나로 설정될 수 있다. 상기 프로세서의 식별번호는 상기 각 공간 격자에 매칭된 CPU별로 부여된 고유번호를 나타내며, 식별번호 개수를 통해 프로세서의 개수도 알 수 있다.
- [0036] 상기 처리부(120)는 2차복소분수함수 분산 모델링 및 상기 MPI 라이브러리를 기반으로 하는 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용하여 전자기파 해석을 위한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산한다.
- [0037] 상기 처리부(120)는 상기 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석을 위해, 도면에는 도시되지 않았지만 제1 처리부를 통해 유전물질의 분산 특성을 나타내는 구성관계식(constitutive relation)을 푸리에 역변환 및 중심차분법을 이용하여 정리하여 전기장에 관한 업데이트 방정식으로 표현할 수 있다. 그리고, 상기 처리부(120)는 제2 처리부(미도시)를 통해 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 자기장과 전기장의 관계식으로 자기장에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 상기 유전물질의 분산 특성을 고려하여 상기 자기장에 관한 업데이트 방정식을 상기 유전물질의 분산 특성과 상기 자기장의 관계식으로 표현할 수 있다. 또한, 상기 처리부(120)는 제3 처리부(미도시)를 통해 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 상기 유전물질의 분산 특성에 관한 업데이트 방정식을 구한 후, 메모리 요구량 개선을 위해 상태공간 신호처리(state-space)를 이용하여 상기 전기장에 관한 업데이트 방정식을 다시 표현할 수 있다. 이를 수학적 참조하여 상술하면 다음과 같다.
- [0038] 구성관계식(constitutive relation)을 이용하여 유전물질의 분산 특성을 아래의 수학적 식 1과 같이 나타낸다.

수학적 식 1

$$\vec{D}(\omega) = \epsilon_0 \left[\frac{A_0 + A_1(j\omega) + A_2(j\omega)^2}{1 + B_1(j\omega) + B_2(j\omega)^2} \right] \vec{E}(\omega)$$

[0039]

[0040] 여기서, $D(\omega)$ 는 전속밀도, ϵ_0 는 유전율, A_0, A_1, A_2, B_1, B_2 는 각각 복소분수함수식의 계수, j 는 허수, ω 는 주파수, $E(\omega)$ 는 전기장을 나타낸다.

[0041] 상기 수학식 1의 양변에 $1 + B_1(j\omega) + B_2(j\omega)^2$ 을 곱한 후 푸리에 역변환과 중심차분법을 이용하여 정리하면 아래의 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$\begin{aligned} & \vec{D}^n + B_1 \frac{\vec{D}^{n+1} - \vec{D}^{n-1}}{2\Delta t} + B_2 \frac{\vec{D}^{n+1} - 2\vec{D}^n + \vec{D}^{n-1}}{\Delta t^2} \\ &= \epsilon_0 \left[A_0 \vec{E}^n + \epsilon_0 A_1 \frac{\vec{E}^{n+1} - \vec{E}^{n-1}}{2\Delta t} + \epsilon_0 A_2 \frac{\vec{E}^{n+1} - 2\vec{E}^n + \vec{E}^{n-1}}{\Delta t^2} \right] \end{aligned}$$

[0042]

[0043] 위의 수학식 2를 전기장에 대한 최종 업데이트 식으로 표현하면 아래의 수학식 3과 같다. 하기 수학식 3과 같은 경우, \vec{E}^{n+1} 값을 업데이트하기 위하여 \vec{E}^{n+1} 값, \vec{E}^n 값, \vec{E}^{n-1} 값, \vec{D}^{n+1} 값, \vec{D}^n 값 및 \vec{D}^{n-1} 값을 저장하기 위한 6개의 메모리가 필요하다.

수학식 3

$$\vec{E}^{n+1} = C_a \vec{E}^n + C_b \vec{E}^{n-1} + C_c \vec{D}^{n+1} + C_d \vec{D}^n + C_e \vec{D}^{n-1}$$

[0045]

[0046] 여기서, 계수 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \beta_0, \beta_1, \beta_2$ 를 아래와 같이 두면,

[0047] $\alpha_0 = A_0 t^2, \alpha_1 = A_1 t, \alpha_2 = 2A_2, \beta_0 = t^2 / \epsilon_0, \beta_1 = B_1 t / \epsilon_0, \beta_2 = 2B_2 / \epsilon_0$ 이고, 계수 C_a, C_b, C_c, C_d, C_e 는 다음의 수학식 4와 같다.

수학식 4

$$C_a = -2 \frac{\alpha_0 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, C_b = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, C_c = \frac{\beta_1 + \beta_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, C_d = 2 \frac{\beta_0 - \beta_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, C_e = -\frac{\beta_1 - \beta_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

[0048]

[0049] 자기장에 대한 업데이트 식은 자기장(H)과 전기장(E)의 관계식으로 아래의 수학식 5와 같이 표현한다.

수학식 5

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

[0050]

[0051] 여기서, μ 는 투자율, t 는 시간을 나타낸다.

[0052] 자기장(H)에 관한 업데이트 수식은 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 아래의 수학식 6과 같이 구한다.

수학식 6

$$\begin{aligned}
 H_x|_{i,j+1/2,k+1/2}^{n+1/2} &= H_x|_{i,j+1/2,k+1/2}^{n-1/2} \\
 &+ \frac{\Delta t}{\mu\Delta y} \left(E_z|_{i,j+1,k+1/2}^n - E_z|_{i,j,k+1/2}^n \right) \\
 &- \frac{\Delta t}{\mu\Delta z} \left(E_y|_{i,j+1/2,k+1}^n - E_y|_{i,j+1/2,k}^n \right) \text{3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_y|_{i+1/2,j,k+1/2}^{n+1/2} &= H_y|_{i+1/2,j,k+1/2}^{n-1/2} \\
 &+ \frac{\Delta t}{\mu\Delta x} \left(E_z|_{i+1,j,k+1/2}^n - E_z|_{i,j,k+1/2}^n \right) \\
 &- \frac{\Delta t}{\mu\Delta z} \left(E_x|_{i+1/2,j,k+1}^n - E_x|_{i+1/2,j,k}^n \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_z|_{i+1/2,j+1/2,k}^{n+1/2} &= H_z|_{i+1/2,j+1/2,k}^{n-1/2} \\
 &+ \frac{\Delta t}{\mu\Delta y} \left(E_x|_{i+1/2,j+1,k}^n - E_x|_{i+1/2,j,k}^n \right) \\
 &- \frac{\Delta t}{\mu\Delta x} \left(E_y|_{i+1,j+1/2,k}^n - E_y|_{i,j+1/2,k}^n \right)
 \end{aligned}$$

[0053]

[0054] 복잡하고 다양한 유전물질의 분산 특성을 고려하기 위해 아래의 수학식 7과 같이 전속밀도(D)와 자기장(H)의 관계식으로 표현한다.

수학식 7

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

[0055]

[0056] 분산 특성에 관한 업데이트 수식은 시간과 공간영역에서 중심차분법을 이용하여 아래의 수학식 8과 같이 구한다.

수학식 8

$$D_x^{n+1}|_{i+1/2,j,k} = D_x^n|_{i+1/2,j,k} + \frac{\Delta t}{\Delta y} (H_z^{n+1/2}|_{i+1/2,j+1/2,k} - H_z^{n+1/2}|_{i+1/2,j-1/2,k}) - \frac{\Delta t}{\Delta z} (H_y^{n+1/2}|_{i+1/2,j,k+1/2} - H_y^{n+1/2}|_{i+1/2,j,k-1/2})$$

$$D_y^{n+1}|_{i,j+1/2,k} = D_y^n|_{i,j+1/2,k} + \frac{\Delta t}{\Delta z} (H_x^{n+1/2}|_{i,j+1/2,k+1/2} - H_x^{n+1/2}|_{i,j+1/2,k-1/2}) - \frac{\Delta t}{\Delta x} (H_z^{n+1/2}|_{i+1/2,j+1/2,k} - H_z^{n+1/2}|_{i-1/2,j+1/2,k})$$

$$D_z^{n+1}|_{i,j,k+1/2} = D_z^n|_{i,j,k+1/2} + \frac{\Delta t}{\Delta x} (H_y^{n+1/2}|_{i+1/2,j,k+1/2} - H_y^{n+1/2}|_{i-1/2,j,k+1/2}) - \frac{\Delta t}{\Delta y} (H_x^{n+1/2}|_{i,j+1/2,k+1/2} - H_x^{n+1/2}|_{i,j-1/2,k+1/2})$$

[0057]

[0058] 또한, 메모리 요구량 개선을 위해 상태공간 신호처리(state-space)를 이용하여 전기장에 대한 업데이트 수학식 3을 다시 표현하면 아래의 수학식 9와 같다.

수학식 9

$$\begin{aligned} \vec{E}^{n+1} &= C_c \vec{D}^{n+1} + \vec{W}_1^n \\ \vec{W}_1^{n+1} &= C_d \vec{D}^{n+1} + C_a \vec{E}^{n+1} + \vec{W}_2^n \\ \vec{W}_2^{n+1} &= C_e \vec{D}^{n+1} + C_b \vec{E}^{n+1} \end{aligned}$$

[0059]

[0060] 수학식 9에 따르면, 최하단에 위치한 W_2^{n-1} 값에 대한 수학식을 통하여 W_2^{n-1} 값을 업데이트하고, 그 업데이트된 W_2^{n-1} 값을 중간에 위치한 W_1^n 값에 대한 수학식의 우측에 존재하는 W_2^{n-1} 값에 대입하여 W_1^n 값을 업데이트하고, 그 업데이트된 W_1^n 값을 최상단에 위치한 \vec{E}^{n+1} 값에 대한 수학식의 우측에 존재하는 W_1^n 값에 대입하여 \vec{E}^{n+1} 값을 업데이트하게 된다.

[0061] 이때, 최하단에 위치한 W_2^{n-1} 값에 대한 업데이트 연산을 위하여 W_2^{n-1} 값을 저장하기 위한 제1 메모리, \vec{D}^{n-1} 값을 저장하기 위한 제2 메모리 및 \vec{E}^{n-1} 값을 저장하기 위한 제3 메모리가 필요하다.

[0062] 또한, 중간에 위치한 W_1^n 값에 대한 업데이트 연산을 위하여 W_2^{n-1} 값을 저장하기 위한 제1 메모리, \bar{D}^n 값을 저장하기 위한 제2 메모리, \bar{E}^n 값을 저장하기 위한 제3 메모리 및 W_1^n 값을 저장하기 위한 제4 메모리가 필요하다. 이때, 제2 메모리는 W_2^{n-1} 값에 대한 업데이트가 완료되면 리셋된 후 \bar{D}^n 값을 저장하게 되고, 제3 메모리는 W_2^{n-1} 값에 대한 업데이트가 완료되면 리셋된 후 \bar{E}^n 값을 저장하게 된다.

[0063] 마지막으로, 최상단에 위치한 \bar{E}^{n+1} 값에 대한 업데이트 연산을 위하여 W_1^n 값을 저장하기 위한 제4 메모리, \bar{D}^{n+1} 값을 저장하기 위한 제2 메모리, \bar{E}^{n+1} 값을 저장하기 위한 제3 메모리가 필요하다. 즉, 제2 메모리는 W_1^n 값에 대한 업데이트가 완료되면 리셋된 후 \bar{D}^{n+1} 값을 저장하게 되고, 제3 메모리는 W_1^n 값에 대한 업데이트가 완료되면 리셋된 후 \bar{E}^{n+1} 값에 대한 업데이트 연산 결과를 저장하게 된다.

[0064] 즉, 본 발명의 일실시예에 따르면 수학적 9와 같이 W_2^{n-1} 값, W_1^n 값 및 \bar{E}^{n+1} 값을 순차적으로 업데이트하는 방식을 통해 최종적으로 \bar{E}^{n+1} 값을 업데이트함으로써, 4개의 메모리만을 이용하여 \bar{E}^{n+1} 값을 업데이트할 수 있게 되며, 5개의 메모리가 필요했던 수학적 3의 기존 방식에 비해 메모리 효율이 향상된다. 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬처리 알고리즘은 MPI 라이브러리의 병렬 통신 함수(예: MPI_Send/MPI_Recv 등)를 이용하여 각 프로세서들 간 메시지 전달 작업을 병렬 처리로 수행하게 된다.

[0065] 여기서, 상기 2차복소분수함수 분산 모델링은 복소분수함수식을 이용하여 유전체의 시간영역 전자기와 수치해석을 위한 것으로서, 이에 대해서는 뒤에서 자세히 살펴보기로 하고, 아래에서는 우선 상기 MPI 라이브러리를 이용한 병렬 처리에 대해 설명한다.

[0066] 상기 MPI 라이브러리를 이용한 병렬 처리 프로그램을 구동하기 위해서는 도 2와 같은 기본 흐름도를 만족해야 한다. 제일 먼저 헤더 파일에 MPI 라이브러리를 선언한 후 프로세서 간의 병렬 처리를 시작하기 위해서 모든 시스템을 초기화한다. 초기화 이후에는 통신 루트를 사용하여 병렬 영역을 구성하기 위해 각 프로세서들을 배열해 식별 번호를 부여하고 프로세서의 총 개수를 결정한다. 그 이후 MPI_Send/MPI_Recv 등의 병렬 통신 함수를 적용하여 구현된 프로그램 코딩을 통해 각 프로세서들 간의 메시지 패싱 작업을 수행하고, MPI 루틴들을 호출할 필요가 없게 되면 최종적으로 MPI_Finalize 함수를 이용하여 병렬처리 기능을 닫고 프로그램 구동을 종료한다. 이렇게 MPI 라이브러리들을 이용하여 해석 공간을 나누어 각 프로세서들이 자신에게 할당된 공간 격자에 대해 병렬 처리를 수행하게 되는데, 이때 전자기와 해석 영역(해석공간)을 3차원으로 나누는 것이 해석 속도 향상에 유리하다.

[0067] 한편, 상기 처리부(120)는 어느 프로세서가 업데이트 방정식(수학적 9 참조)의 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 있어 필요한 다른 필드 성분에 대한 정보를 가지고 있지 않은 경우에는 MPI 라이브러리의 병렬 통신 함수를 이용하여 이웃한 프로세서와 통신을 수행하게 하여, 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하는데 필요한 다른 필드 성분을 송수신하여 상기 특정한 필드 성분을 업데이트하도록 상기 프로세서를 제어할 수 있다.

[0068] 3차원 QCRF-FDTD는 $D_x, D_y, D_z, E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$ 아홉 개의 필드 성분에 대한 업데이트가 이루어지며, $D_x, D_y, D_z, H_x, H_y, H_z$ 여섯 개의 필드 성분은 업데이트에 MPI를 통한 통신이 수반된다. 여섯 개의 필드의 업데이트를 위해서는 3차원으로 나뉜 프로세서마다 x, y, z 방향으로의 데이터 통신이 필요하다. 그 중 x축 방향으로의 D_x 필드 성분의 업데이트를 예를 들어보자. 도 3과 같이 프로세서 N+1에서 D_x 필드 성분을 업데이트하기 위해서는 프로세서 N의 H_y 필드 성분과 H_z 필드 성분 정보를 받아 프로세서 N+1에서 D_x 필드 성분을 업데이트 한다. 이와 같이 나머지 다섯 개의 필드 성분도 인접 프로세서에서 정보를 주고받아 계산하게 된다.

- [0069] 이하에서는 상기 MPI 라이브러리를 이용한 병렬 처리 시 프로세서 간의 통신의 필요성에 대해 설명한다.
- [0070] 도 4는 1차원 MPI-FDTD에서의 데이터 통신 과정을 도시한 것이다. 아주 간단한 예로, 9개의 공간 격자(Cell)를 해석하기 위하여 3개의 CPU(프로세서)로 해석 공간을 3개의 공간 격자로 나누었다고 가정하자. CPU 1에는 각각 3개의 E_x 와 H_y , CPU 2에는 각각 3개의 E_x 와 H_y , CPU 3에는 4개의 E_x 와 3개의 H_y 가 존재한다. 1차원으로 E_x 를 업데이트하기 위해서는 좌우 양쪽의 H_y 가 필요하고, H_y 를 업데이트하기 위해서도 좌우 양쪽의 E_x 가 필요한데, CPU 1에서 H_{y3} 를 업데이트하기 위해서는 E_{x3} 과 E_{x4} 가 필요하다. 하지만, CPU 1에서는 E_{x4} 가 존재하지 않기 때문에 CPU 2에서 가져와 계산하여야 한다. 한편, CPU 2에서 E_{x4} 를 업데이트하기 위해서는 H_{y3} 과 H_{y4} 가 필요한데, CPU 2에는 H_{y3} 이 존재하지 않기 때문에 CPU 1에서 가져와 계산하여야 한다. 이렇게 E_x 와 H_y 가 각 CPU 사이에서 송수신하는 것을 데이터 통신이라 말하며, 이와 같은 데이터 통신은 병렬 FDTD 알고리즘에서 꼭 필요하다.
- [0071] 상기 후처리부(130)는 상기 각 필드 성분을 푸리에 변환을 이용하여 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환한다. 이때, 상기 후처리부(130)는 이산 푸리에 변환을 이용하여 상기 각 필드 성분을 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환할 수 있다.
- [0072] 상기 후처리부(130)는 MPI 루틴들의 호출이 없게 되면 MPI_Finalize 함수를 이용하여 병렬 처리 기능을 정지 및 종료할 수 있다.
- [0073] 한편, 상기 초고속 전자기파 해석 장치(100)는 도면에는 도시되지 않았지만 전처리부를 더 포함할 수 있다.
- [0074] 복수의 프로세서를 이용한 병렬 처리를 위해, 상기 전처리부는 상기 전자기파 해석 영역을 복수의 3차원 공간 격자로 분할하게 되는데, 상기 공간 격자의 모양을 최대한 정육면체에 가깝게 분할할 수 있다.
- [0075] 이를 위해, 상기 전처리부는 상기 전자기파 해석 영역의 3차원 공간 분할 시, 상기 전자기파 해석 영역에 적용할 프로세서의 개수를 결정하고, 상기 프로세서의 개수를 인수분해 하여 도출된 인수들을 조합하여 상기 전자기파 해석 영역의 x , y , z 축 각각에서의 분할 개수를 결정할 수 있다.
- [0076] 이때, 상기 전처리부는 상기 전자기파 해석 영역의 x , y , z 축에서의 분할 개수가 최대한 유사하게 되도록 상기 인수들을 조합하여 상기 전자기파 해석 영역을 x , y , z 축으로 분할할 수 있다. 이에 따라, 전자기파 해석 영역이 x , y , z 축으로 분할되어 생성된 복수의 공간 격자별로 해당하는 프로세서를 매칭하여 상기 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산할 수 있다.
- [0077] 구체적으로, 전자기파 해석 영역을 3차원의 복수의 공간 격자로 분할할 시에 각각의 분할된 공간 격자는 최대한 정육면체의 모습을 가지는 것이 통신에 유리하다. 해석 공간을 정육면체에 가까운 공간 격자들로 나누기 위해서는 전자기파 해석 영역을 나눌 때 정확한 기준이 필요하다. 본 실시예에서는 도 5와 같이 전자기파 해석 영역을 분할할 때 프로세서(CPU)의 개수를 인수분해하여 도출된 N 개의 인수들을 조합하여 x , y , z 세 방향으로의 분할 개수를 결정한다. 즉, CPU의 개수를 인수분해하여 도출된 인수들의 개수 N 은 3개 이상일 수 있는데, 인수는 x , y , z 축 3개의 축으로 분배되어야 하므로 인수가 3개를 초과하는 경우에는 그 복수개의 인수를 조합하여 인수를 3개로 만든 후 x , y , z 축 각각에게 분배하게 된다. 예컨대, CPU의 개수가 60개인 경우에는 인수가 2, 2, 3, 5로 $N=4$ 가 되고, CPU의 개수가 120개인 경우에는 인수가 2, 2, 2, 3, 5로 $N=5$ 가 되고, CPU의 개수가 240개인 경우에는 인수가 2, 2, 2, 2, 3, 5로 $N=6$ 이 될 수 있다.
- [0078] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 3개를 초과하는 인수들을 그 크기가 작은 숫자부터 차례로 정렬하고 x , y , z 축에게 분배될 3개의 인수의 크기가 가능한 비슷하게 되도록 인수들을 조합하게 된다. 그러면, 전자기파 해석 영역을 분할하여 생성된 복수의 공간 격자들의 모양이 정육면체에 근접하게 되고 x , y , z 세 방향의 통신량을 최대한 비슷하게 제어할 수 있어 효율적인 통신 환경을 구축할 수 있게 된다.
- [0079] 예를 들어, CPU의 개수가 60개인 경우, 60을 인수분해 하면 2, 2, 3, 5의 4개의 인수가 나오고, 4개의 인수를 x , y , z 축으로 분배하기 위해 인수의 조합을 통해 3개의 인수 4(2*2), 3, 5를 생성할 수 있다. 이로써, CPU의 개수가 60개인 경우에는 전자기파 해석 영역이 x 축으로 4개, y 축으로 3개, z 축으로 5개로 분할되고, 결과적으로 60개의 공간 격자들이 생성되게 된다.
- [0080] 이를 통해, 각각의 공간 격자의 모양이 최대한 정육면체에 근접하게 되도록 전자기파 해석 영역을 3차원 분할할 수 있으며, 각 축의 통신량을 최대한 비슷하게 제어하여 효율적인 통신 환경을 구축할 수 있다.
- [0081] 도 6은 MPI-QCRF-FDTD를 이용한 시뮬레이션에 따라 CPU 개수 증가에 따른 속도 향상 증가 효과를 나타낸 도면이

다.

- [0082] 도 6에서는 CPU 클러스터 기반의 MPI 라이브러리와 3차원 공간분할을 적용한 병렬 QCRF-FDTD 알고리즘을 이용하여 전기적 해석 공간에 대한 계산을 수행하였을 때, CPU의 수에 따른 계산 속도의 향상 정도를 확인하였다.
- [0083] 이를 위해서 MPI 통신을 하지 않는 단일 프로세서의 계산 속도를 기준으로 다중 프로세서에서 사용하는 CPU의 수를 각각 8, 16, 24, 32, 40, 48, 60개로 계산시간을 측정하였다. 시뮬레이션 수행을 위해 공간 간격은 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5\text{mm}$ 로 설정하였으며, 시간은 $\Delta t = 9.526279 \text{ ps}$, $n\text{step} = 1000$ 으로 설정하였다. 해석 공간은 $0.6 * 0.6 * 0.6\text{m}^3$ ($120 * 120 * 120 \text{ cells}$) 크기의 자유 공간으로 이루어져 있으며, 5cm (10 cells) 크기의 PML이 자유 공간 각 면의 외부를 감싸고 있다. 입사하는 전자파는 미분형 가우시안 펄스인 포인트 소스를 해석 공간의 정 가운데로 여기시켰다.
- [0084] 단일 프로세서에서의 해석 시간은 1,072초가 걸렸으며, CPU의 수를 변화시켜 단일 프로세서에서 걸린 시간을 기준으로 속도 향상 정도를 도시한 도면은 도 6과 같다. 도 6에 도시된 바와 같이, CPU가 늘어남에 따라 속도 향상 정도 증가하는 것을 확인할 수 있다. 참고로, 도 6에서 막대그래프 위를 지나는 직선은 CPU 수에 따른 속도의 이상적인 수치를 가리킨다.
- [0085] 한편, 이하에서는 본 실시예에 적용되는 FDTD 알고리즘의 기반인 2차복소분수함수 분산 모델링에 대해서 설명한다. 상기 2차복소분수함수 분산 모델링은 도 1의 처리부(120)에 의해 수행될 수 있다.
- [0086] 상기 처리부는 유전체의 주파수에 대해 실수부와 허수부로 나타낸 주파수 함수, 및 복수의 계수를 포함하는 복소분수함수식(QCRF)을 이용하여 상기 주파수에 따라 측정된 복소 유전율의 분산 특성을 나타내는 분산 특성 함수를 생성한다. 상기 처리부는 상기 분산 특성 함수를 행렬 변환하여 상기 복소분수함수식의 각 계수를 산출하고, 상기 산출된 각 계수를 상기 복소분수함수식에 적용하여 상기 유전체의 시간영역 전자기파 수치해석을 위한 분산 특성 모델링을 수행한다.
- [0087] 이때, 상기 처리부는 상기 분산 특성 함수를 에러가 표현된 식으로 변경하고, 상기 에러가 표현된 식으로 변경된 분산 특성 함수에 상기 유전율의 변화율을 적용하여 상기 복소분수함수식의 각 계수를 산출할 수 있다.
- [0088] 여기서, 상기 분산 특성 함수 $D(\omega)e(\omega)$ 는 하기 수학식 10과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 10

[0089]
$$D(\omega)e(\omega) = [(1 - \omega^2 B_2)R(\omega) - \omega B_1 I(\omega) - A_0 + \omega^2 A_2] + j[\omega B_1 R(\omega) + (1 - \omega^2 B_2)I(\omega) - \omega A_1]$$

[0090] 여기서, $e(\omega) = \epsilon_{r,DA TA}(\omega) - \epsilon_{r,QCRF}(\omega)$,

[0091] $\epsilon_{r,DA TA}(\omega) = R(\omega) + jI(\omega)$ (R 은 실수부, I 는 허수부를 나타내는 주파수 함수),

[0092] $\epsilon_{r,QCRF}(\omega) = \frac{N(\omega)}{D(\omega)} = \frac{A_0 + A_1(j\omega) + A_2(j\omega)^2}{1 + B_1(j\omega) + B_2(j\omega)^2}$ (상기 각 계수(A_0, A_1, A_2, B_1, B_2)를 얻기 위한 복소분수함수식)을 나타내며,

[0093] 상기 에러가 표현된 식으로 변경된 분산 특성 함수 E 는

[0094]
$$E = \sum_{k=1}^M |D(\omega_k)e(\omega_k)|^2 = \sum_{k=1}^M [(1 - \omega_k^2 B_2)R(\omega_k) - \omega_k B_1 I(\omega_k) - A_0 + \omega_k^2 A_2]^2 + [\omega_k B_1 R(\omega_k) + (1 - \omega_k^2 B_2)I(\omega_k) - \omega_k A_1]^2$$
 이고,

[0095] 여기서, ω_k 는 샘플링된 주파수, M 은 최대 샘플링 인덱스를 나타낸다.

[0096] 또한, 상기 처리부는 상기 유전율의 변화율이 적용된 분산 특성 함수를 $5*5$ 행렬로 변환하여 상기 복소분수함수식의 각 계수를 산출할 수 있다. 여기서, 상기 $5*5$ 행렬은 하기 수학식 11과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$\begin{bmatrix} \lambda_0 & 0 & -\lambda_2 & T_1 & S_2 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & -S_2 & T_3 \\ \lambda_2 & 0 & -\lambda_4 & T_3 & S_4 \\ T_1 - S_2 & -T_3 & U_2 & 0 & \\ S_2 & T_3 & -S_4 & 0 & U_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 \\ T_1 \\ S_2 \\ 0 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

[0097]

[0098] 여기서, 여기서 $\lambda_k = \sum_{\omega_k} (\omega_k)^k$, $S_k = \sum_{\omega_k} (\omega_k)^k R(\omega_k)$, $T_k = \sum_{\omega_k} (-\omega_k)^k f(\omega_k)$, $U_k = \sum_{\omega_k} (\omega_k)^k [(R^2(\omega_k) + f^2(\omega_k))]$, $R_k = \epsilon_r$ (유전율의 실수부), $\epsilon_k = \epsilon''$ (유전율의 허수부)를 나타낸다.

[0099] 또한, 상기 처리부는 상기 예리가 표현된 식으로 변경된 분산 특성 함수에 상기 분산 특성 모델링의 정확도를 높이기 위한 가중치 함수를 추가하고, 상기 가중치 함수가 추가된 분산 특성 함수를 이용하여 5*5 행렬의 변수를 구하며, 상기 5*5 행렬의 변수를 이용하여 상기 복소분수함수식의 각 계수를 산출할 수 있다.

[0100] 상기 가중치 함수가 추가된 분산 특성 함수는 하기 수학식 12와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$E = \sum_{\omega_k} |D(\omega_k) e(\omega_k)|^2 \zeta(\omega_k)$$

[0101]

[0102] 여기서, (ω_k) 는 가중치 함수를 나타낸다.

[0104] 도 7은 2차복소분수함수 분산 모델링 기반 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용한 초고속 전자기파 해석 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다. 상기 초고속 전자기파 해석 방법은 도 1의 초고속 전자기파 해석 장치(100)에 의해 수행될 수 있다.

[0105] 도 7을 참조하면, 단계(710)에서 상기 초고속 전자기파 해석 장치는 MPI(Message Passing Interface) 라이브러리를 이용하기 위한 MPI 라이브러리 선언, MPI 초기화, 및 구조 모델링에 따른 전자기파 해석 영역의 공간 격자 크기, 시간 간격, 소스원의 종류, 프로세서의 식별번호를 포함하는 파라미터의 설정을 수행한다.

[0106] 다음으로, 단계(720)에서 상기 초고속 전자기파 해석 장치는 2차복소분수함수 분산 모델링 및 상기 MPI 라이브러리를 기반으로 하는 유한차분 시간영역 병렬 처리 알고리즘을 이용하여 전자기파 해석을 위한 업데이트 방정식의 각 필드 성분을 계산한다.

[0107] 다음으로, 단계(730)에서 상기 초고속 전자기파 해석 장치는 상기 각 필드 성분을 푸리에 변환을 이용하여 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환한다.

[0109] 본 발명의 실시예들은 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 로컬 데이터 파일, 로컬 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 및 롬, 램, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0111] 지금까지 본 발명에 따른 구체적인 실시예에 관하여 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서는 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허 청구의 범위뿐 아니라 이 특허 청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

[0112] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및

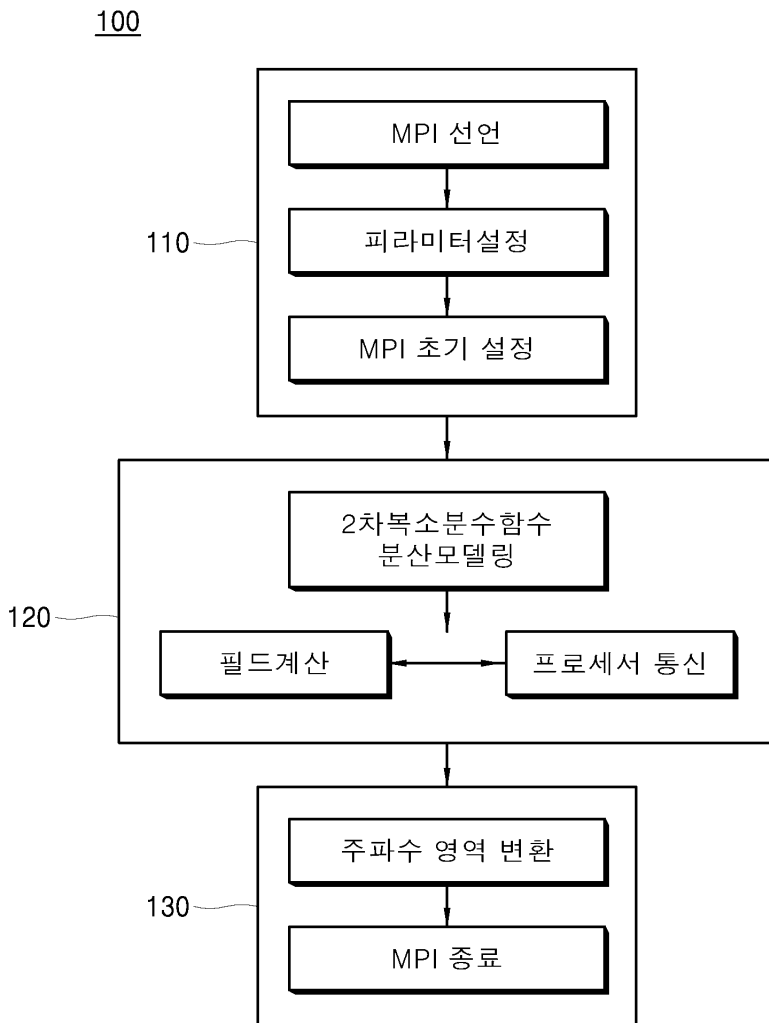
변형이 가능하다. 따라서, 본 발명 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이의 균등 또는 등가적 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

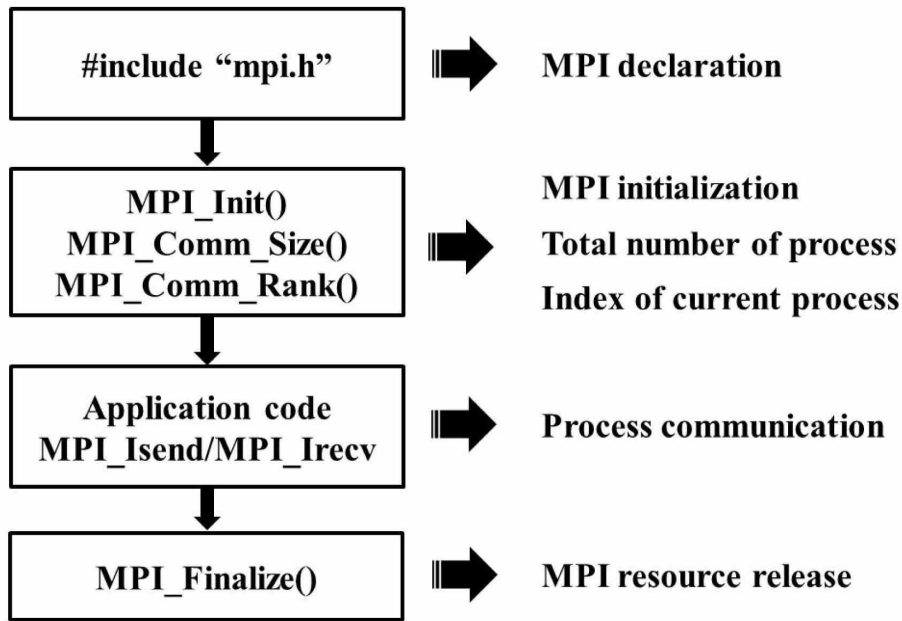
- 110: 입력부
- 120: 처리부
- 130: 후처리부

도면

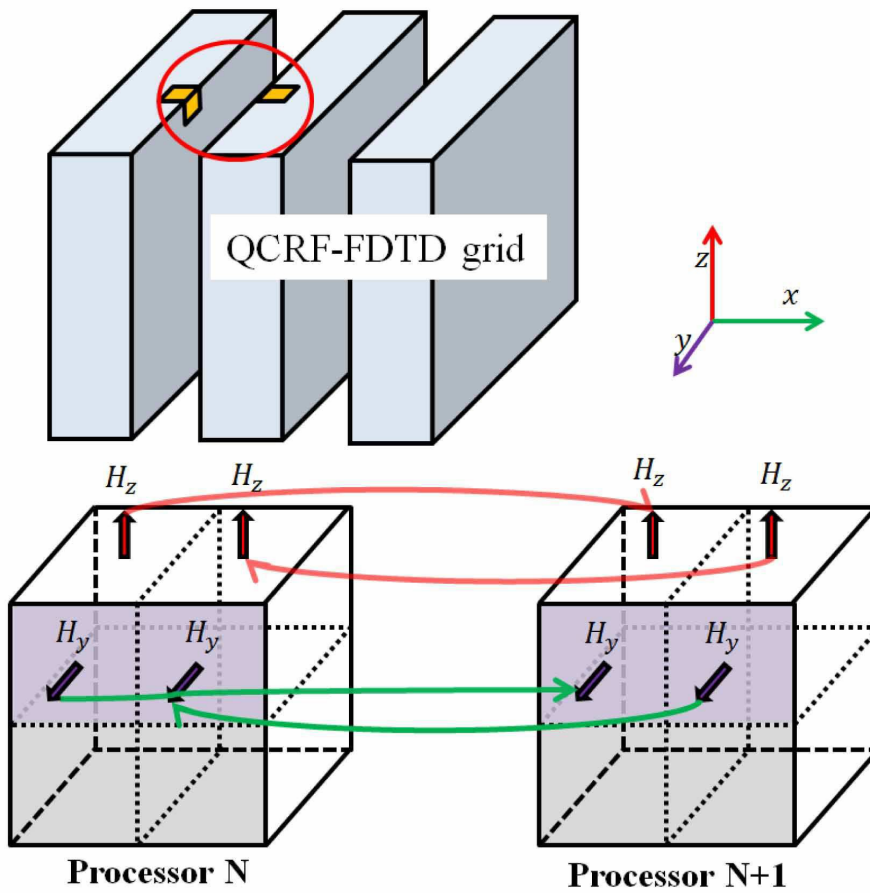
도면1



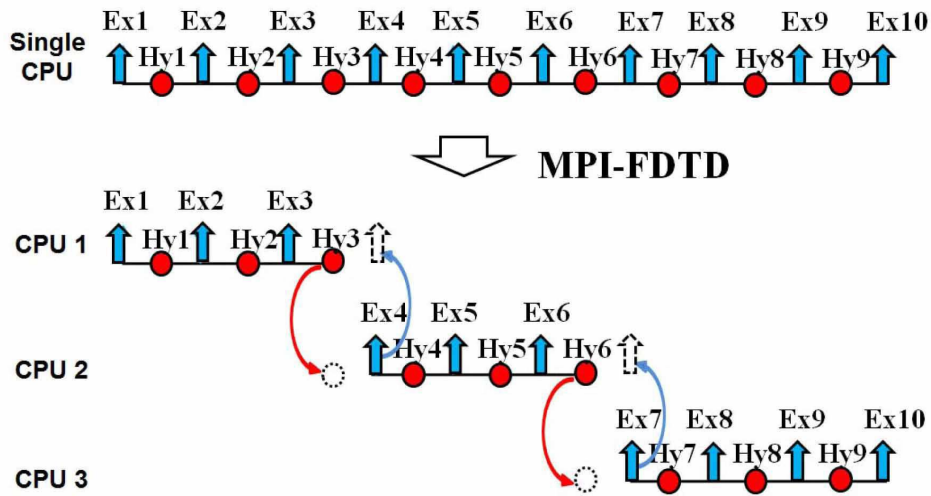
도면2



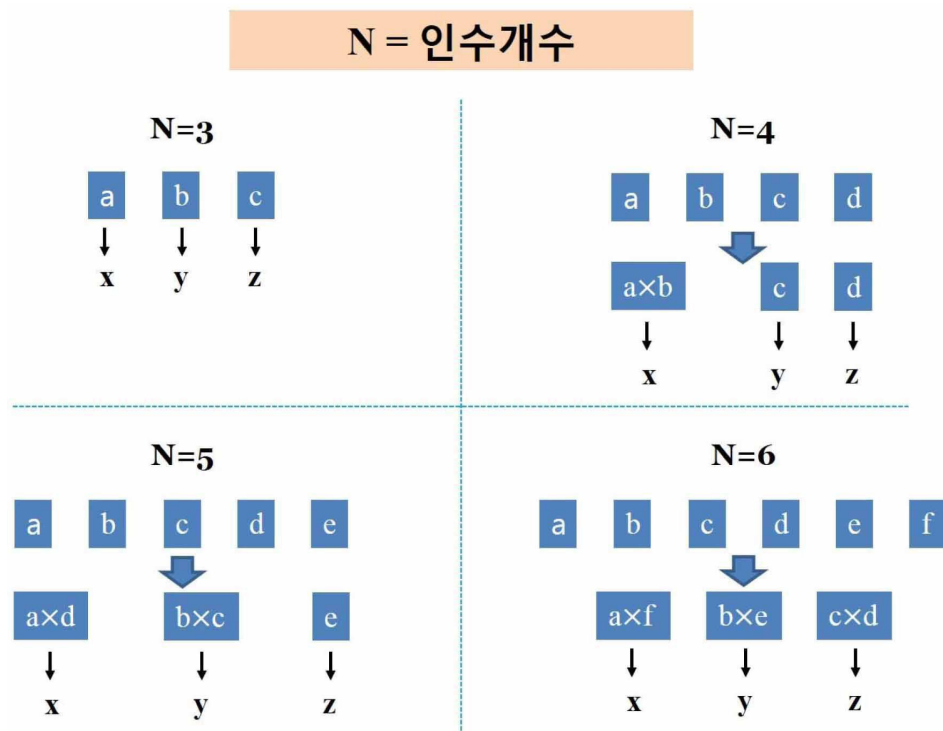
도면3



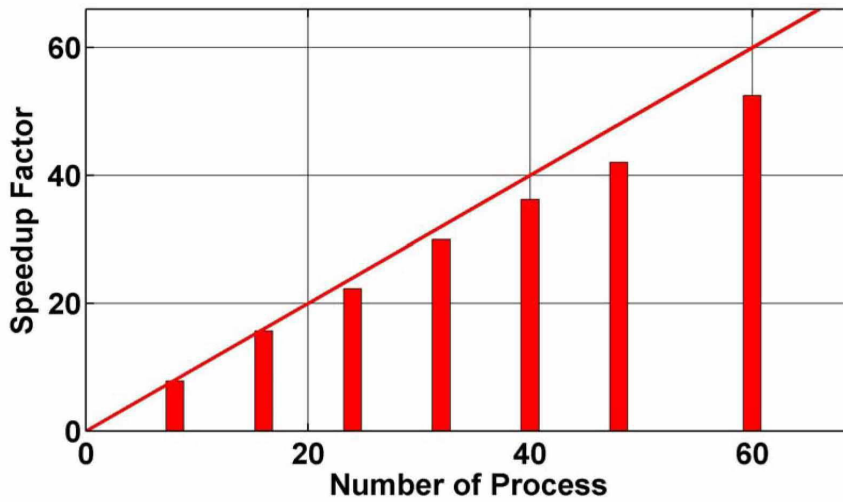
도면4



도면5



도면6



도면7

