



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0061777
(43) 공개일자 2009년06월17일

(51) Int. Cl.

G06F 17/10 (2006.01) G06F 19/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0128718

(22) 출원일자 2007년12월12일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

원태영

서울 강남구 대치동 506 선경아파트 7-504

양승수

인천 남구 용현동 15-2번지 성심빌리지 204호

전체 청구항 수 : 총 3 항

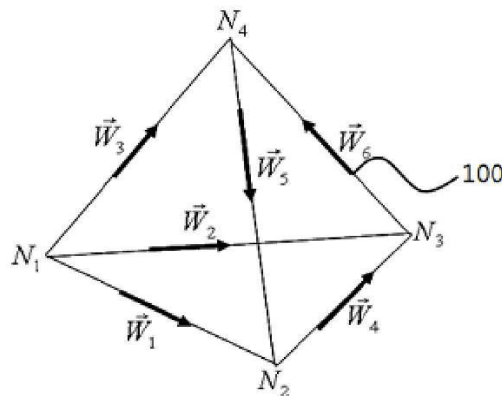
(54) 유한요소 시간 영역법을 이용한 전자기파의 전파특성컴퓨터 시뮬레이션을 위한 수치 해석 방법

(57) 요약

본 발명은 유한요소 시간 영역법을 이용하여 무한한 영역을 전파하는 전자기파를 해석하고 유전체 층에서의 전자기파의 투과와 반사 특성해석 그리고 산란체에서의 산란특성 등을 해석하는 방법을 제공한다. 본 발명은 전자기파의 전파 문제는 대부분의 매질의 경우 복잡한 경계면에서의 산란현상, 감쇄 매질에서의 감쇄 현상 그리고 비등방성 매질에서의 위상지연 현상 등과 같은 복잡한 해석을 하기 위해 본 발명에서는 유한요소 시간 영역법을 활용한다.

유한요소 시간 영역법의 알고리즘을 구현하기 위해 맥스웰 방정식의 시변 전자계 유도법칙인 패러데이 법칙과 암페어 법칙으로부터 유도되는 헬모츠 방정식을 적용한다. 이 방정식에 벡터유한요소법을 적용하여 공간에 대한 이산화를 수행하였고 물리적인 매질의 경계조건과 가상의 흡수경계조건을 적용하여 컴퓨터 코드화 하는 방법을 제시하고 계산시간의 단축과 정확성을 증가시키는 효과를 제공하고 있다.

대표도 - 도1a



특허청구의 범위

청구항 1

전자기파의 전파특성 시뮬레이션을 위한 수치 해석 처리 방법에 있어서,
공간영역의 유한요소 해석하기 위하여 요소를 모서리로 분할하는 단계; 및
유한요소 정식화에 의해 수행된 시스템 방정식의 시간영역을 이산화하여 해석하는 단계
를 포함하는 수치 해석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 공간에 대한 시스템 행렬성분의 구현 알고리즘에서 입사파의 파장을 10~20번 샘플링 할 수 있도록 메쉬 사이즈를 결정하여 이산화하고 유한요소정식화에 따라 시스템 행렬 성분을 조립하는 수치해석 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 입사파를 입사면에 여기시켜 초기 시간에 모든 해석공간의 전계 값은 “0”이며 입사파의 인가에 의해 각 시간 단계마다 해석영역의 전체 전계 값을 구하고 현재시간 단계가 최종시간보다 작으면 시간 루프를 계속 반복하면서 전계 값을 구하고 그렇지 않으면 프로그램을 종료하는 수치해석 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 전자기파의 전파특성을 해석할 수 있는 유한요소 시간 영역법에 대한 모델링과 구조해석 방법에 대한 것으로서, 컴퓨터 기술의 발달로 인해 전자기장 문제 해석 방식에 많은 변화가 일어나고 있다. 전자파 분야의 엔지니어들은 복잡한 전자파 문제해석에 대해서 컴퓨터 기술에 전적으로 의존하고 있다. 궁극적으로 대부분의 전자파 해석문제는 한, 두개의 편미분 방정식을 풀어낸다는 것을 의미 하지만 실질적으로는 매우 극소수의 문제만이 컴퓨터의 도움 없이 풀리는 실정이다. 대부분의 경우 복잡한 경계면에서의 산란(scattering), 감쇄 매질에서의 감쇄(loss) 그리고 비등방성(anisotropic) 매질에서의 위상지연 등과 같은 복잡한 해석이 요구된다.
- <2> 이와 같은 이유로 전자기파의 해석을 위한 수많은 수치 해석 기술이 제공되고 있으며 각 기술들은 특정한 문제 유형에 대한 적합한 분석을 제공한다. 전자기파의 수치해석 모델링 방법은 크게, 사용하는 공식화 형식에 따라 시간 영역 또는 주파수 영역으로 분류된다. 일부 주파수에서의 정상 상태 응답을 원하거나 주파수 의존형 성분이 있는 문제는 일반적으로 주파수 영역에서 처리된다. 그러나 고속과도 응답(transient response), 비선형성 및 시간 의존형 파라미터가 있는 경우는 시간 영역에서 처리되는 것이 가장 효율적일 것이다. 어떤 영역을 채택하든 다른 영역에서의 결과는 시스템의 임펄스와 주파수 응답이 푸리에 변환(fourier transform)의 쌍이라는 것을 인식함으로써 찾을 수 있다.

배경 기술

- <3> 하지만, 최근 전자기파 해석에서 한번의 계산으로 광대역 주파수 범위(broad band)의 응답특성을 해석할 수 있는 시간영역 해석 방법이 많은 알고리즘이 연구되면서 이용 가치가 높아지고 있는 실정이다. 현재 3차원 전자기파 전파해석 문제에 대한 실용적인 모델링으로서 유한차분법이 적용되어 시간영역에서 해석하는 유한차분시간영역법(FDTD: finite difference time domain)이 많이 사용되고 있다. 이 방법은 맥스웰 회전방정식을 이-알고리즘(Yee-algorithm)에 맞게 이산화하고, 유한차분법을 시간과 공간영역에 적용하여 해석하는 풀-웨이브(full-wave) 수치해석 모델이다. 일반적으로 유한차분법을 적용한 수치해석 기법이 가지는 모델링과 알고리즘화의 간단함이라는 장점을 가지고 있다.
- <4> 하지만 여기에는 몇 가지 문제점이 따른다. 첫째는 3차원 벡터 문제가 계산적인 요소를 더욱 요구하기 때문에 스푸리우스 솔루션(spurious solution)이라는 물리적으로 예측 불가능하거나 부정확한 결과를 낳는 문제점이다. 두 번째는 복잡한 경계면을 처리하는데 있어서 그리드 기반(grid-based) 기술이 구조적인 문제가 있다는 점이다. 또한 기존의 유한차분시간영역방법은 수치적 산란 오차를 최소화하고 수치적 정확도를 높이기

위하여 공간 증분과 시간 증분의 크기를 결정하는데 반드시 쿠란 안정 조건(Courant-Friedrich -Levy stability condition)을 적용해야 하므로 시간 증분의 크기가 1~5 fs(10-15 sec) 단위가 되며, 100 ps 정도의 상승 시간을 갖는 신호를 컴퓨터 모의 실험하기 위해 수 만 번의 반복 계산이 필요하므로 매우 많은 시간을 필요로 한다.

<5> 이와 같은 이유에서 본 발명에서는 전자기파의 전파해석에 유한요소법을 적용하여 시간영역에서 해석하는 유한요소시간영역법(finite element time domain)이라는 수치해석 기법을 적용하였다. 전자기파의 전파 특성에 관한 물리적 모델을 이해하고, 이를 컴퓨터상에서 구현할 수 있는 CAD 환경을 통해서 결과를 미리 예측 할 수 있는 방법을 제시한다.

<6> 따라서 본 발명에서는 전자기파의 전파특성 해석을 위한 유한요소시간영역법에 대한 모델링을 수행하고 알고리즘화 하여 다양한 매질에서 발생할 수 있는 전자기파의 전파특성을 해석하는 수치해석 연산 기법에 관한 것이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<7> 본 발명은 상기와 같은 문제점을 개선하고자 창안된 것으로, 제1 목적은 전자기파의 전파특성 해석을 위한 유한요소 시간 영역법에 대한 모델링을 수행하고 알고리즘화 하여 다양한 매질에서 발생할 수 있는 전자기파의 전파특성을 해석하는 수치해석 연산 기법을 제공함에 있다.

<8> 본 발명의 제2 목적은 제1 목적에 부가하여 서로 다른 유전체 층에서 전자기파의 투과와 반사특성을 해석하는 방법을 제공하는데 있다.

과제 해결수단

<9> 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 전자기파의 전파 특성 시물레이션을 위한 수치 해석 처리 방법에 있어서, 유한요소 시간 영역법을 적용하여 해석하기 위하여 벡터 형상함수를 모델링 하는 단계; 유한요소 정식화하는 단계 및 시간영역을 이산화 하는 단계; 경계조건을 적용하고 입사파를 구현하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다.

효 과

<10> 이상과 같이, 본 발명은 유한요소 시간 영역법(Finite Element Time Domain)을 이용한 전자기파의 공간 내 또는 매질내의 전파특성을 시물레이션을 위한 수치 해석 처리를 하는 과정에서 벡터 형상함수를 모델링하고 유한요소 정식화에 의해 수행된 시스템 방정식의 시간영역을 이산화하는 방법을 통하여 전자기파 해석에서 한번의 계산으로 광대역 주파수 범위의 응답특성을 해석할 수 있다. 본 발명은 전자기파의 3차원 공간에서의 전파 해석에 대한 실용적인 모델링으로서 최적의 결과를 검출할 수 있는 장점을 지니고 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<11> 이하, 본 발명에 따른 전자기파의 전파 특성 시물레이션을 위한 수치 해석 처리 방법의 바람직한 계산방법에 대하여 첨부 도면 도1a 내지 도4b 참조하여 상세히 설명한다.

<12> 도1a는 본 발명에 따른 유한요소 시간 영역법을 적용한 전자계해석을 위한 모서리 기반요소(edge-based element)법을 도시하였다. 도1a를 참조하면, 모서리기반요소의 가장 큰 특징은 형상함수가 벡터성분을 가진다는 점이다. 도1b를 참조하면, 벡터형상함수는 각 노드의 노드 형상 함수에 그래디언트(gradient) 연산을 취함으로써 얻어진다. 각 모서리(100)에서 벡터형상함수는 모서리를 따라 접선성분의 값이 모두 같으며 법선성분의 값은 같지 않다. 즉, 전자계의 경계면에서 접선성분이 연속이고 법선성분이 불연속인 물리적인 성격과 일치한다는 점에 주목해야 할 것이다. 따라서 이 벡터형상함수가 전자계 해석에 필요한 경계조건과 일치하는 성질을 가지고 있으므로 물리적으로 의도하지 않은 해가 구해지는 슈프리우스 솔루션의 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 경계조건의 처리가 매우 효율적인 방법이다. 사면체 요소의 6개의 모서리에서 벡터형상함수를 나타내며 일반적으로 모서리의 중앙 점(mid-point)에서의 값을 기준으로 설정한다.

<13> 도2a는 유한요소 정식화에 의해 수행된 시스템 방정식의 시간영역을 이산화 하기위한 방법에 대해 도시하였다. 먼저 시간 축을 일정한 미소 증분(Δt)으로 나누고 시간에 대한 변수를로 기술함으로써 시간영역에 대한 미분을 이산화하여 나타낼 수 있다. 이산화에 있어서 중요한 것은 수치적 산란 오차를 최소화하고 수치적 정확도를 보

장해야 한다는 점이다. 공간 증분과 시간 증분을 사용되는 신호의 한 사이클내에 10~20개 이상의 샘플이 들어갈 수 있도록 설정하면 정확한 결과를 얻을 수 있다.

<14> 도3a 와 도3b는 본 발명에 따른 유한요소 시간 영역법의 수치해석 알고리즘은 공간에 대한 시스템 행렬성분의 구현 알고리즘과 시간에 대한 루프(time-loop)알고리즘을 도시하였다. 도3a를 참조하면, 본 발명에 따른 입사파의 파장을 10~20번 샘플링 할 수 있도록 메쉬 사이즈를 결정하여 이산화하고 유한요소정식화 따라 시스템 행렬 성분을 조립한다. 시스템 행렬 시스템이 조립된 후 해석영역 내에 완전도체가 존재할 경우 완전도체조건(PEC)을 부여한 후 메쉬 사이즈와 매질내의 입사파의 위상속도를 고려하여 시간 증분을 결정한다. 여기까지의 단계는 단 한번만 실행이 된다. 도3b를 참조하면, 시간에 대한 루프는 공간에 대한 알고리즘이 적용된 후 도3b에 제시된 바와 같이 실행된다. 외부에서 입사파가 해석영역 내부로 입사되므로 입사되는 면에 입사파를 여기시킨다. 초기 시간에 모든 해석공간의 전계 값은 “0”이며 입사파의 인가에 의해 각 시간 단계마다 해석영역 전체의 전계 값을 구한다. 현재시간 단계가 최종시간보다 작으면 시간 루프(time-loop)문을 계속 반복하면서 전계 값을 구하고 그렇지 않으면 프로그램을 종료한다.

<15> 본 발명의 유한요소 시간 영역법을 적용하여 서로 다른 유전체 층에서 전자기파의 투과와 반사특성을 해석하기 위해 유전체 층(dielectric slab)에서 모의실험을 하였다. 도4a는 x, y, z 가 각각 10cm × 10cm × 30cm 이며 비유전율이 각각 1(410), 4(420), 9(430)인 유전체인 매질로 설정한 모의실험 구성도이다. 입사파는 펄스 시간 폭이 100ps이고 크기가 10 V/m 인 가우시안 펄스파를 이용하였으며 z = 0인 경계면에 입사하였다.

<16> 이어서, 시뮬레이션을 통해 매질을 통과하는 가우시안 펄스의 진행모습을 시간의 변화에 따라 도4b와 같이 시각적으로 표현하였다. 도4b에서 비유전율이 4인 매질(420)의 경계면에서 반사된 펄스파(440)가 다음그림(450)에서 나타나는 것을 확인하였고 이 반사파가 시간이 지난 후 z = 0 cm인 면으로 흡수됨을 확인하였다. 그리고 비유전율이 9인 매질(410)의 경계면에서 반사파와 투과파가(460) 나타나며 투과파의 경우 흡수경계면에 이르러서 무한한 영역으로 전파되었음을 확인하였다.

<17> 전술한 내용은 후술할 발명의 특허 청구 범위를 보다 잘 이해할 수 있도록 본 발명의 특징과 기술적 장점을 다소 폭넓게 개설하였다. 본 발명의 특허 청구 범위를 구성하는 부가적인 특징과 장점들이 이하에서 상술될 것이다. 개시된 본 발명의 개념과 특정 실시예는 본 발명과 유사 목적을 수행하기 위한 다른 구조의 설계나 수정의 기본으로서 즉시 사용될 수 있음이 당해 기술 분야의 숙련된 사람들에 의해 인식되어야 한다.

<18> 또한, 본 발명에서 개시된 발명 개념과 실시예가 본 발명의 동일 목적을 수행하기 위하여 다른 구조로 수정하거나 설계하기 위한 기초로서 당해 기술 분야의 숙련된 사람들에 의해 사용되어 질 수 있을 것이다. 또한, 당해 기술 분야의 숙련된 사람에 의한 그와 같은 수정 또는 변경된 등가 구조는 특허 청구 범위에서 기술한 발명의 사상이나 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변화, 치환 및 변경이 가능하다.

도면의 간단한 설명

<19> 도1a은 본 발명에 따른 모서리기반의 사면체 요소를 나타낸 구성도.

<20> 도1b는 본 발명에 따른 위치에 따른 벡터형상함수의 분포를 나타낸 구성도.

<21> 도2는 본 발명에 따른 시간영역의 이산화와 시간 반복 과정을 시각화하여 나타낸 구성도.

<22> 도3a는 유한요소시간영역법의 시스템행렬 구성 알고리즘을 나타낸 흐름도.

<23> 도3b는 시간에 대한 루프 알고리즘을 나타낸 흐름도.

<24> 도4a는 본 발명에 따른 3차원 구조의 모형에 대한 시뮬레이션 구성도.

<25> 도4b는 본 발명에 따른 3차원 구조의 모형에 대한 가우시안 펄스파의 진행모습 구성도.

<26> <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

<27> 100: 요소의 모서리.

<28> 410: 비유전율이 1인 유전체 매질.

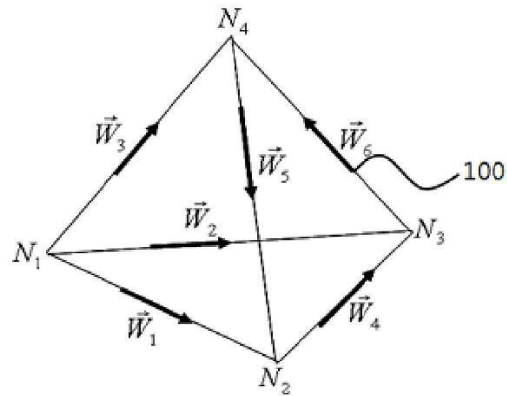
<29> 420: 비유전율이 4인 유전체 매질.

<30> 430: 비유전율이 9인 유전체 매질.

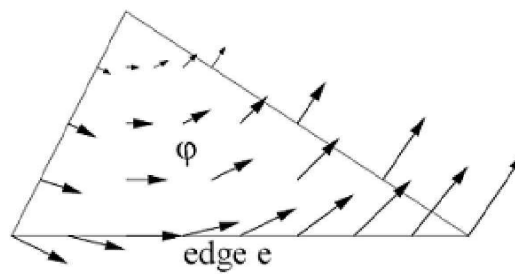
- <31> 440: 비유전율이 4인 매질의 경계면에서 반사된 펄스파.
 <32> 450: 시간이 지난 후 흡수되는 반사파.
 <33> 460: 비유전율이 9인 매질의 경계면에서 반사파와 투과파.

도면

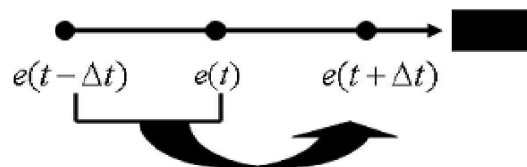
도면1a



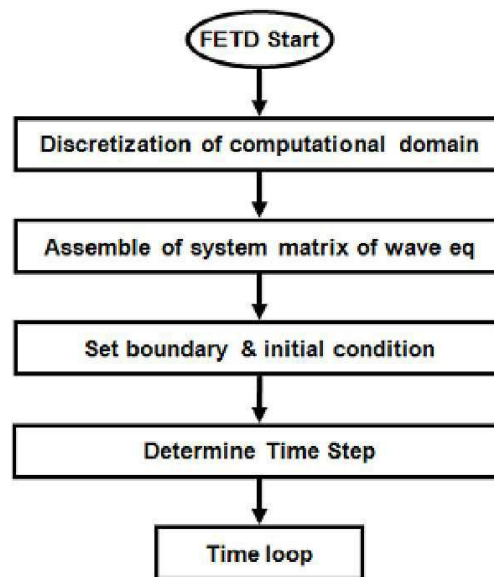
도면1b



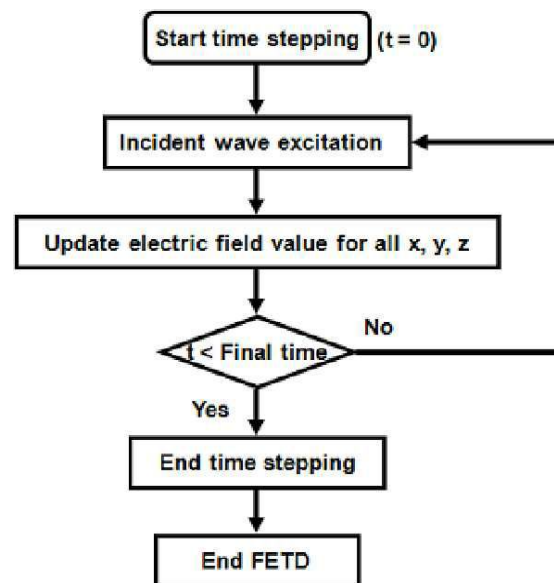
도면2



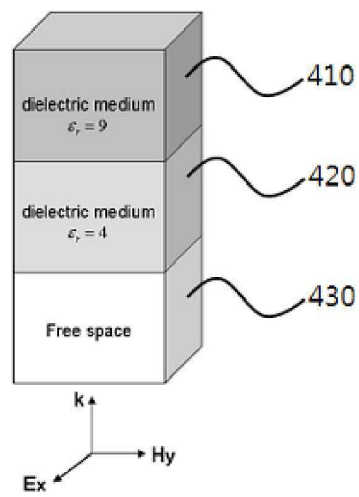
도면3a



도면3b



도면4a



도면4b

