GPGPU에 의한 음장의 가시화에 관한 연구

이채봉

A study on the visualization of the sound field by using GPGPU

Chai-bong Lee

요 약

본 연구에서는 음파전달의 가시화를 위해 고속 연산장치인 GPU(Graphics Processing Unit)를 이용하여 실 시간 처리를 하였으며 이산 호이겐스 모델법을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 실시간 처리와 2차원 가상 음장 내의 반사물이나 음원의 상태를 변경하여 실재 음장과 같은 음파전달의 가시화를 하였다. 그 결과, 음파가 반 사물에 의해 반사되는 형태나 반사물에서 회절하는 형태가 확인되었다.

ABSTRACT

In order to visualize the transfer of sound waves, we performed real-time processing with the fast operating system of GPU, the Graphics Processing Unit. Simulation by using the method of the discrete Huygens' model was also implemented. The sound waves were visualized by varying the real-time processing, the reflecting surfaces within the two-dimensional virtual sound field, and the states of the sound source. Experimental results have shown that reflection and diffraction patterns for the sound waves were identified at the reflecting objects.

키워드

Discrete Huygens model, Real-time processing, GPU, Visualization, GPGPU

Ⅰ. 서 론

음은 공기의 진동 즉, 파동의 성질을 가진 음파이 다. 파동은 주파수나 파장, 주기, 진폭 등의 특징으로 나타나며 음파도 이러한 물리량으로 나타난다. 많은 음이 공간내를 전달하는 것을 생각하면 음의 시간적, 공간적 거동을 상세히 아는 것은 매우 중요하다. 음파 전달을 계산기의 화면 등에 가시화가 되면 전달경로 에서의 음의 물리적 성질의 변화를 용이하게 파악 할 수 있으며, 음의 전달이 중요한 음악 홀이나 연주회장 등의 음장에 대하여 보다 나은 전달경로를 생각하여 보다 더 좋은 음장을 구성 할 수 있다. 음파전달의 가 시화를 직접적으로 나타 낼 경우, 실재 음장 전체에 모든 점에서의 음압 데이터를 측정하여 수집하지 않 으면 안된다. 그러나 이 경우는 마이크로폰을 설치한 위치에서만 데이터를 얻을 뿐만 아니라 마이크로폰 자체가 반사나 회절의 영향을 받기 때문에 음장 전체 의 모든 점에서 음압 데이터를 얻는 것은 비 현실적 이다. 본 연구에서는 컴퓨터에 의한 수치계산 시뮬레 이션에 의해 실재 음장을 가상적으로 모의 한 음장에 서 데이터를 추정하는 것에 의해 실재 음장에 가까운 음압 데이터를 얻어 음과전달의 형태를 실시간으로 가시화 하려고 한다. 시뮬레이션의 경우, 음장을 세분 화 할수록 고 정밀도의 가시화가 되나 음장이 클수록

동서대학교 전자공학과(Icb@dongseo.ac.kr) 접수일자 : 2010, 08, 30 심사(수정)일자 : 2010, 09, 29 게재확정일자 : 2010, 10, 15 계산량이 증가하는 문제가 있다. 그리고 음장내의 상 태를 도중에 변경하여 반영하기 위해서는 계산처리를 고속으로 할 필요가 있다. 본 연구에서는 계산처리 능 력이 높은 연산장치인 NDIVIA사의 GPU(Graphics Processing Unit)를 사용하였다. GPU는 2D나 3D의 그래픽 화면을 고속화 하기 위한 비디오 카드에 탑재 된 연산장치이다. GPU는 512 bit로 고속으로 데이터 가 전송되는 구조로 되어 있으며 병렬처리가 되는 연 산성능을 가지고 있으며 GPU의 연산능력을 범용 목 적으로 고속 계산을 하는 GPGPU(General Purpose computing on GPU)가 개발되었다[1-4].

음파전달의 시뮬레이션 방법으로는 FDTD법(Finite difference time domain method), 이산 호이겐스 모델 법 등이 알려져 있다[5-7]. FDTD법은 이산 호이겐스 모델법에 비하여 시간이 많이 걸리며, 이산 호이겐스 모델법은 파동전달을 나타내는 호이겐스 원리를 이산 화 하여 공간내의 각 점에서 입사와 분산을 단순한 계산으로 처리·반복하기 때문에 대량의 데이터를 병렬 로 취급하는 GPGPU에 적합하며 계산시간이 많이 걸 리지 않는 장점도 있다. 지금까지의 연구는 모든 계산 처리를 하고 난 뒤 화면에 나타내었으므로 실시간 처 리가 되지 않았으며 자유음장만을 고려하였다[8].

본 연구에서는 실시간 처리를 하기 위하여 고속연 산장치인 GPU를 이용하여 GPGPU에 의한 계산처리 를 고속화 하였으며, 이산 호이겐스 모델법을 사용하 여 시뮬레이션 하였다. 실시간 처리와 2차원 가상 음 장내의 반사물이나 음원의 상태를 변경하여 처리하는 기능을 추가하여 실재 음장과 같은 음파전달의 가시 화를 하였다.

Ⅱ. 이산 호이겐스 모델

2.1 2차원 자유 음장의 파동전달

호이겐스의 원리는 파동이 전파되어 나갈 때 파면 의 각 점은 점음원이 되어 이에 의하여 새로운 파면 이 형성되는 것이며, 이산 호이겐스 모델은 음파전달 을 임피던스의 전달과 분산으로 시간영역에서 직접 추적해 나가는 수법이다[9-11]. 그림 1은 한 방향에서 입사한 단위 임펄스가 절점에서 분산하는 형태를 나 타내었다. 그림에서 시각 k에서 절점에 입사된 임펄 스는 시각 k+1에서 임피던스 부정합에 의하여 그림 (b)와 같이 분산된다. 호이겐스 원리에서는 전 방향으 로 분산되지만 본 모델에서는 선로에 구속된 4 방향 으로만 분산하도록 하였다. 각 선로는 같은 임피던스 Z를 가진다면 입사선로에 대하여 3개의 선로에 있는 합성 임피던스 Z₀는 Z/3이 된다. 그러므로 반사계수 τ는 식(1)과 같이 된다.





그림 2는 4 방향에서의 임펄스 입사가 절점에서 분 산하는 형태를 나타내었으며 시각 k에 입사된 각 임 펄스는 시각 k+1에서 4 방향으로 분산한다. 각 절점 에서 입사·분산의 관계는 식(2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} V_1(x,y) \\ V_2(x,y) \\ V_3(x,y) \\ V_4(x,y) \end{bmatrix}^r = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} V_1(x,y) \\ V_2(x,y) \\ V_3(x,y) \\ V_4(x,y) \end{bmatrix}^i \dots (2)$$

여기서 첨자 *i*, *r*은 입사, 반사를 나타내며, (*x*,*y*) 는 2차원 음장에서 *x*, *y*좌표의 음압을 나타낸다. 시 각 *k*에서 분산된 임펄스는 상하 좌우로 인접하는 각 각의 절점에 시각 *k*로 입사가 되며 식(3)과 같이 나 타난다.

$${}_{k}V_{1}^{i}(x, y) = {}_{k}V_{3}^{\tau}(x, y-1)$$

$${}_{k}V_{2}^{i}(x, y) = {}_{k}V_{4}^{\tau}(x-1, y)$$

$${}_{k}V_{3}^{i}(x, y) = {}_{k}V_{1}^{r}(x, y+1)$$
(3)
$${}_{k}V_{4}^{i}(x, y) = {}_{k}V_{2}^{\tau}(x+1, y)$$

식 (2)의 분산과 식 (3)의 입사 과정을 반복하여 음 파가 각 점에 전달된다. 시각 k에서 절점에 입사된 임펄스를 가지고 절점의 음압 V를 계산하며 식(4)와 같이 나타난다.

$$_{k}V(x, y) = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{4} {}_{k}V {}_{m}^{i}(x, y) \cdots (4)$$

본 연구에서는 음파전달의 가시화는 음압 V의 시 각마다 변화를 2차원 음장내에 각 절점으로 표시 한 것으로 하였다.

2.2 2차원 음장내에 반사물이 있는 경우의 음파전달

2.2.1 반사 경로가 3 방향인 경우

그림 3은 반사율 100%의 반사물 영향으로 1 방향 에서 단위 임펄스의 입사가 3 방향으로 분산하는 모 양을 나타낸 것이다. 그림 (a)와 같이 시각 k에 입사 된 임펄스는 시각 k+1의 절점에 임피던스 부정합에 의해 그림 (b)와 같이 분산된다. 등가회로를 생각하면 합성 임피던스 Z₀는 Z/2이 된다. Z와 Z₀의 임피던스 부정합에 대한 반사계수 τ는 식(5)와 같이 되며 -1/3 이 반사하고 2/3가 각 선로에 투과하는 것을 알 수 있다.



dispersion



 (a) 임펄스 입사(시각 k)
 (b) 절점에서의 분산 (시각 k+1)

 (a) Impulse incidence
 (b) Dispersion from nodal point

 그림 4, 3 방향 입사에서 3 방향으로 분산

Fig. 4 From three-direction incidence to four-direction dispersion

그림 4는 3 방향에서의 입사와 분산의 관계를 나타 내었으며 그림의 관계를 식(6)으로 나타내었다.

$$\begin{bmatrix} V_1(x,y) \\ V_2(x,y) \\ V_4(x,y) \end{bmatrix}^r = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & 2 & 2 \\ 2 & -1 & 2 \\ 2 & 2 & -1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} V_1(x,y) \\ V_2(x,y) \\ V_4(x,y) \end{bmatrix}^i \dots \dots \dots (6)$$

그리고 우측 및 상하의 입사와 분산의 형태를 나타내 면 식(7~9)와 같다.

$$\begin{bmatrix} V_1(x,y) \\ V_2(x,y) \\ V_3(x,y) \end{bmatrix}^r = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & 2 & 2 \\ 2 & -1 & 2 \\ 2 & 2 & -1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} V_1(x,y) \\ V_2(x,y) \\ V_3(x,y) \end{bmatrix}^i \dots \dots (7)$$

$$\begin{bmatrix} V_2(x,y) \\ V_3(x,y) \\ V_4(x,y) \end{bmatrix}^r = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & 2 & 2 \\ 2 & -1 & 2 \\ 2 & 2 & -1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} V_2(x,y) \\ V_3(x,y) \\ V_4(x,y) \end{bmatrix}^i \dots \dots \dots (8)$$

$$\begin{bmatrix} V_1(x,y) \\ V_3(x,y) \\ V_4(x,y) \end{bmatrix}^r = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & 2 & 2 \\ 2 & -1 & 2 \\ 2 & 2 & -1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} V_1(x,y) \\ V_3(x,y) \\ V_4(x,y) \end{bmatrix}^i \dots \dots \dots (9)$$

2.2.2 반사 경로가 2 방향인 경우

그림 5는 반사율 100%의 반사물 영향으로 1 방향 에서 단위 임펄스 입사가 2 방향으로 분산하는 형태 를 나타내었다. 그림과 같이 시각 k에 입사된 임펄스 는 시각 k+1의 절점에 있어서 임피던스 부정합에 의 하여 그림 (b)와 같이 분산된다. 임피던스 부정합에 의한 반사계수 τ는 식(10)과 같으며 반사가 0으로 전 부 투과한다.

 $\tau = \frac{Z-Z}{Z+Z} = \frac{1-1}{1+1} = 0$ (10) $\int_{2}^{y} \int_{2}^{y} \int_{2}^{z} \int_{2}^{z} \int_{4}^{z} \int_{$

Fig. 5 From one-direction incidence to two-direction dispersion

2 방향에서의 입사와 분산(그림 5)을 식으로 나타 내면 다음과 같은 식(11)으로 나타낼 수 있으며 다른 형태의 경우는 식(12)~식(14)와 같이 나타낼 수 있다.

III. GPGPU에 의한 호이겐스 모델

자유 음장만에서의 가시화 및 실시간 처리가 되지 않은 기존의 연구결과의 문제점을 해결하기 위하여 실시간 처리와 2차원 가상 음장내의 반사물이나 음원 의 상태를 변경하여 처리하는 기능을 추가하였다. 가 시화 시스템의 처리 흐름은 그림 6과 같으며 그림에 서 디바이스 처리는 GPU 처리를 의미한다. CPU에서 데이터 격납용의 배열을 정의 및 시각을 0으로 설정 하고 음압 데이터를 계산하는 준비를 하였다. 다음은 이산 호이겐스 모델을 이용하여 시각 k의 음압 데이 터를 계산하고 배열에 격납하였다. 격납된 데이터를 화면에 재생하면서 시각을 하나씩 증가시켜 CPU에서 음압을 계산해 나가는 처리를 반복하였다. 데이터의 전송시간을 단축하기 위하여 처음부터 메인 메모리의 어드레스를 비디오 메모리의 어드레스와 대응하도록 하였으며 비디오 메모리의 음장 데이터를 메인 메모 리에 전송하지 않고 CPU가 음장 데이터를 읽도록 하 였다.

2차원 가상 음장내의 일부 절점에 반사물을 설치하 고 분산 경로가 3 방향이나 2 방향으로 변화될 때 각 각의 반사물 배열 형태마다의 분산 계산법을 변경하 였다. 반사물의 설치 외에 반사물이나 음원의 이동, 음원의 주파수나 음압의 변경 등의 추가 처리를 하였 다. 반사물이나 음원의 이동은 설치 된 위치를 *x*좌표 와 *y*좌표로 하나씩 가감하였다. 음원의 음압 변경은 음원에 자연수 범위로 변경되는 계수를 승산하는 것 으로 하였으며 계산에 이용된 음의 주파수는 100Hz 단위로 변경하는 기능을 추가하였다. 시뮬레이션하는 음장의 절점 수는 256×256 포인트로 하였다. 그리고 음파의 전달 거리와 시간은 음장내의 한 절점간의 거 리를 1cm로 가정하였으므로 음파가 옆의 절점에 도달 하는데 걸리는 시간은 1/34000초로 하였다.



그림 6. 실시간 처리 시스템 Fig. 6 Real-time processing system

그림 7~9는 자유 음장에서의 음파전달 형태를 나 타내었으며 (a)는 위에서 본 형태를 나타내었고 (b)는 옆에서 본 전달 형태를 나타내었다. 그림 중의 화살표 는 음원의 위치를 나타낸다. 그림 7은 최초의 음장 상 태로 음파가 아직 전달되지 않고 있으며 그림 8,9는 음원에서 나온 음파가 원주상으로 전달되어 나가는 모습을 확인하였다. 그리고 음파의 진폭이 감쇠하면서 음장내에 전달하는 형태도 확인하였다.





그림 10~13은 원주상에 반사물을 설치한 2차원 음 장내에서 음파전달의 형태를 나타내었으며 그림 10에 서의 화살표는 음원과 반사물의 위치를 표시하였다. 음장의 크기와 음의 물리량은 자유 음장의 경우와 같 다. 그림 11에서는 음이 반사물에 도달하는 형태이며 그림 12는 주변으로 음이 반사하는 형태가 확실히 관 측이 되고 있으며 그림 13은 주변으로 음의 회절이 확인되었다.









Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 GPGPU에 의한 이산 호이겐스 모델 법을 사용하여 2차원 가상 음장의 음파전달을 시뮬레 이션을 하였다. 시뮬레이션은 실재 음장과 같이 반사 물이 존재하는 음장에서의 음파전달을 실시간으로 처 리로 나타내었으며, 음장의 상태를 변경하는 기능을 추가하여 가시화 하였다.

실시간 처리 기능은 디바이스에서 음압 데이터 계 산처리와 CPU에서 화면처리를 반복하였으며 메인 메 모리와 비디오 메모리의 어드레스를 대응시키는 것으 로 데이터 전송을 생략하고 화면처리를 고속화 하였 다. 음장의 상태 변경 처리는 반사물의 설치, 반사물 이나 음장의 이동, 음원의 주파수나 음압 등의 물리량 의 변경 등을 하였다.

특히, 반사물의 설치를 위한 변경은 이산 호이겐스 모델에서의 반사물 영향으로 음파의 분산이 3 방향이 나 2 방향으로 되는 경우의 계산식을 생각하여 반사 물의 배치 형태마다 계산식을 사용하여 2차원 가상 음장내의 반사물을 표현하였다. 이러한 기능을 사용한 가상화 시스템을 이용하여 실재의 반사물을 포함한 2 차원 가상 음장에서의 음파전달을 시뮬레이션 하였다. 그 결과, 음파가 반사물에 의해 반사되는 형태나 반사 물에서 회절하는 형태가 확인되었다.

참고 문헌

- Aouki. J, etc, "The first of CUDA programing," Engineering, 2009.
- [2] NVIDIA CUDA Programing Guide 2.0, http://developer.download.nvidia.com/comput e/cuda/2.0/docs/NVIDA.CUDA_Programming. Guide_2.0.pdf.
- [3] NVIDIA CUDA ZONE,
 - http://www.nvidia.co.jp/page/home.html.
- [4] http://www.intel.com/#/ja_JP_01.
- [5] Asata. k, etc, "Sound field simulator with imaging," Electic Information, Proc. Meet., Vol. 100, No. 581, pp. 1-8, 2001.
- [6] http://www.neo-tech-lab.co.uk/G_index.htm.
- [7] Toyama. H, "Acoustic digital Huygens' mathod using GPU" THE SCIENCE AND ENG-INEERING REVIEW OF DOSHISHA UNIVE-RSITY, Vol. 49, No.1, pp. 45-52, 2008.
- [8] Satou. S, "The fundamental study of visulization using discrete Huygens' model," Akita University graduation theses, 2009.
- [9] Kakawa. S, "The discrete Huygens' model and electromagnetic waves, sound wave propagation simulation." Aimata Proc. Meet, NO. 15, 2004.

- [10] 한국음향학회 편, "음향용어사전," (주)교화사, 2003.
- [11] Kakawa. S, "TLM matrix mathod," 培風館, 1999.

감사의 글

본 연구는 秋田縣立大學과 공동연구로 수행된 결과물 의 일부분이며 秋田縣立大學에 감사의 뜻을 표한다.

저자 소개



이채봉(Chai-bong Lee)

1985년 2월 : 동아대학교 전자공학 과 졸업 (공학사) 1988년 3월 : 동북대학교 대학원 전기통신공학과 졸업(공학석사)

1992년 3월 : 동북대학교 대학원 전기통신공학과 졸 업(공학박사) 1993 ~ 현재 :동서대학교 전자공학과 부교수 ※ 주관심분야 : 신호처리, 음향공학