

# 가중 8진트리를 이용한 가중치 지역에 대한 최적경로설정

임 상 석, 이 창 규, 황 주 영, 박 규 호  
한국과학기술원 전기 및 전자공학과 컴퓨터공학연구소  
Email:sslim@encore.kaist.ac.kr

## 3D Path-Planning for Weighted-Regions by Weighted-Octree Method

Sangseok Lim, Jooyoung Hwang, Chang Gyu Lee, Kyuho Park  
Computer Engineering Laboratory, Electrical Engineering Department  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

### 요 약

본 논문에서는 가중치 3 차원공간을 가중치 8 진트리를 이용하여 나타낸다. 가중치 8 진트리는 가중치영역을 계층적으로 나타내고 용이하게 분해능을 조절할 수 있게 한다. 즉 높은 가중치를 갖는 공간은 세밀하게 분해하고 낮은 가중치를 갖는 공간은 성질하게 분해하여 최적의 경로설정을 빠른 시간에 할 수 있도록 한다. 이러한 8 진트리를 바탕으로하여 최적경로설정하는 종합틀(Framework)을 제시하고 실험을 통하여 그 결과를 제시한다.

### 1. 서 론

최적경로선정에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으나 자유통과 지역과 장애물 지역만으로 구성된 이차원 이진 공간에서의 경로선정에 관한 연구가 대부분이었다. 그러나 실제의 작업영역은 연속적인 통과 비용을 요구하는 여러 가중치 지역으로 구성되어 있고, 경우에 따라 3차원의 정밀한 경로 설정을 요구한다. 3차원 가중치 공간에서의 경로설정과 통과 위험도가 연속적인 실제 세계를 모델화하여 가장 일반적인 상황이라고 할 수 있으며 장애물 지역을 무한대의 통과 비용지역으로 간주할 경우 가중치 지역은 이진공간을 포함하는 일반적 공간으로 처리 될 수 있다. 본 논문에서는 우선 가중치 지역을 통과 비용에 근거하여 효과적으로 표현할 수 있는 가중치 8진트리를 이용하여 최적경로 선정에 관한 이론 및 방법 실험결과를 제시한다.

가중 8진트리는 구조가 계층적이고 분해능이 용이하게 조절 될 수 있다. 즉 낮은 통과 비용의 지역은 저 해상도로 분할하는 반면 높은 통과 비용을 요구하는 지역은 세부적으로 분할하게 된다. 이러한 표현력을 바탕으로 위험도가 높은 지역은 세밀하게 경로를 선정하고 위험도가 낮은 지역은 비교적 성질하게 선정함으로써 처리속도를 향상 시킬 수 있다.

### 2. 가중치 영역의 표현

가중치 8진트리는 계층적이고 비용 의존적인 방식

의 셀분해 방식에 사용된다. 더 높은 비용을 갖는 영역은 더욱 세밀하게 분해되어진다. 이러한 특징에 의해 더 높은 위험도를 갖는 영역은 더 세밀하게 표현 되어지고 낮은 위험도의 영역은 조잡하게 나타내어지게 된다. 이러한 특징을 반영하는 8진트리를 이용하여 최적화된 경로 설정을 할 수 있는 영역의 표현구조를 얻어 낼 수가 있다. 여기에서는 가중치 영역을 표현하는 방법과 그것의 특징들을 자세히 설명하기로 한다.

#### 2.1 8진트리에 의한 계층적인 표현

많은 양의 데이터크기를 필요로 하는 높은 해상도의 고차원의 영역에서의 경로설정은 수십초단위이상의 처리시간과 수백 Mbytes 의 메모리를 요구하게 된다. 이러한 대량의 데이터를 처리할 때 모든 데이터영역에 대해서 일률적으로 연산하게 되면 경로를 설정하는데 중요한 부분과 중요하지 않은 부분을 구분하지 않게 되므로 매우 비효율적이게 된다. 이러한 현상을 제거하기 위해서 비용에 대해서 의존적이면서 계층적인 형태로 데이터를 가공하여 경로설정에 이용하는 방식이 필요하게 된다.

8 진트리를 이용한 볼륨데이터의 표현은 효율적으로 경로설정을 할 수는 근거를 제공해준다. 위와 같은 8 진트리를 구성하기 위해서 먼저 4 가지의 노드를 정의한다.

- 검정 노드 : 볼륨데이터 내의 모든 영역이 무한대인 노드
- 흰색 노드 : 볼륨데이터 내의 모든 영역의 비용의 합이 임계치보다 작거나 같은 노드
- 회색 노드 : 하얀 노드와 검정 노드가 섞여있는 영역

녹색 노드 : 비용이 무한대 보다는 작지만 임계치 보다는 큰 영역

모든 볼륨데이터는 주어진 임계치에 근거하여 아래와 같은 방식으로 반복적으로 분해되면서 위에서 정의한 노드의 색이 할당되어진다..

알고리즘 : 8 진트리 분해

입력 : 3 차원 볼륨데이터, 임계치

출력 : 8 진트리에 의해 표현된 볼륨데이터

1) 영역의 크기가 해상도 보다 작거나 영역의 비용이 임계치보다 작으면 return

2) 노드의 색을 결정하여 할당한다.

검정 : 전체 영역의 비용이 무한대이다.

흰색 : 전체 영역의 비용합이 임계치보다 작다.

회색 : 무한대 비용이 유한 비용과 섞여 있다.

녹색 : 전체 영역의 비용합이 무한대보다 작고 임계치보다 크다.

3) 영역이 회색이거나 녹색이면 볼륨을 8 개의 자식으로 분해하고 2)의 과정을 반복한다.

4) return

그림 1)은 위의 과정이 적용되어 볼륨이 분해되는 모습을 도시화하였다.

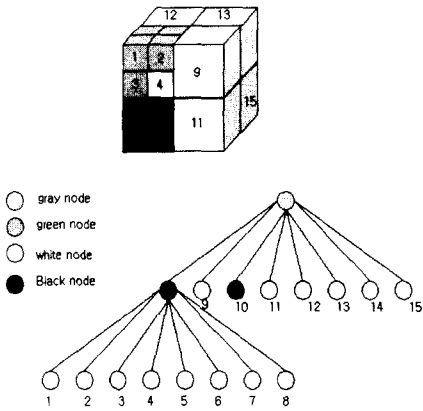


그림 1) 8 진트리 분해

위와 같은 과정을 거쳐서 8 진트리로 나타내어진 볼륨데이터는 그것의 잎노드중 흰색노드들만으로 구성된 이웃 그래프를 형성하기 위해서 쓰이게 된다.

### 3. 그래프의 구성

최적경로 설정하기 위해서 주어진 볼륨데이터를 효율적으로 가공하여 그래프로 나타내어야 한다. 주어진 8진트리에서 그래프를 얻어내기 위해서는 아래와 같은 두가지 과정을 거치게 된다.

#### 3.1 이웃노드 찾기

가중치 8 진트리에서 잎노드(검정노드를 제외한)가

나타내는 직육면체의 데이터 영역 중심을 연결하여 이웃그래프를 얻을 수 있다. 위와 같은 그래프를 구성하기 위해서는 각 노드가 나타내는 실제 볼륨에서 이웃하는 영역들을 연결하는, 즉 이웃하는 노드를 찾아서 연결하는 알고리즘이 필요하다. 이러한 이웃하는 노드를 찾는 방식은 Samet[1]에 의한 제안된 방식을 확장하여 사용하였다. 즉, 한가지 차이점은 [1]방식에서는 노드들이 서로 이웃하는지를 검사하기 위해 두 노드의 공통된 부모노드를 찾은 후 이웃노드를 위치시키기 위해서 부모노드가 회색노드인 경우에만 반사된 경로를 따르지만 본 논문에서 제시한 방식에서는 녹색노드인 경우에도 반사된 경로를 따르게 된다. [1]가 제시한 방식의 복잡도는 선형적이기 때문에 고차원의 응용프로그램이나 복잡한 작업영역에도 적절하다.

위와 같은 방식으로 한 노드에 대해 이웃하는 노드를 모두 찾으면 그 노드에서 나가는 모든 호와 그 호가 도달하는 노드의 정보를 알 수있게 된다. 그러한 정보를 리스트에 저장하면 전체 그래프가 생성되게 된다. 이와같이 하여 생성된 그래프는 최적경로를 설정하기위해 Dijkstra 방식의 그래프 탐색 알고리즘의 입력으로 주어지게 된다.

### 3.2 호의 가중치 계산

이웃하는 노드를 결정하였다면 그 노드를 중심으로 하여 그 노드까지의 호가 결정되게 되는데 이 호의 가중치도 구하여야한다. 호의 가중치는 두 노드사이의 거리를 호상의 가중치를 곱하여 결정한다. 이때 digitization bias problem[2]이 발생하게 되는데, 이러한 문제는 두 노드상의 거리 계산시 Euclidean 함수에 의한 거리와 디지털화된 거리 함수에 의한 거리의 차이에 의해 발생하게 된다. 위와 같은 문제를 극복하기 위하여 inverse anti-aliasing 알고리즘을 이용하여 호의 가중치를 구하게 된다. 이 방식은 window clipping 방식을 사용하여 window를 이동시키면서 각 셀의 경계선과 윈도우와의 교차점을 찾아내고 교차점 사이의 거리를 Voxel의 강도와 곱하여 가중치를 구하고 이러한 가중치를 누적하여 호의 가중치를 결정하게 된다.

### 4. 최소 거리 경로 설정 알고리즘

최소경로를 찾는 문제는 네트워크 최적화의 기본적인 문제이다. 이러한 알고리즘은 오래전부터 연구되어져 왔었고 현재에도 진행중이다. Dijkstra[3]나 A\* 알고리즘은 출발점이 하나인 그래프상에서 일반적으로 쓰이는 방식이다. 본 논문의 실험에서는 Dijkstra방식을 근간으로 하여 실험을 수행하였다. Dijkstra 알고리즘의 복잡도는 기본적으로

$$O(M + N^2)$$

M : 호의 수  
N : 노드의 수

를 갖는다. 알고리즘의 수행시 발생하는 중간노드의 저장방식에 따라 복잡도가 달라지는데 그 중에서 힙

구조를 이용한 중간노드 저장방식은

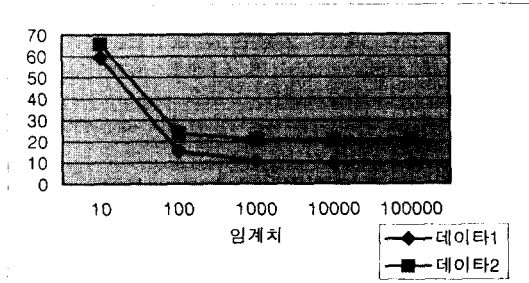
$$O(M \log N) \quad M: \text{호의 수} \\ N: \text{노드의 수}$$

의 복잡도를 갖게된다. 본 논문에서는 힙구조를 이용한 Dijkstra 알고리즘을 적용하여 실험하고 그에 따른 성능을 분석하였다.

### 5. 실험 및 결과

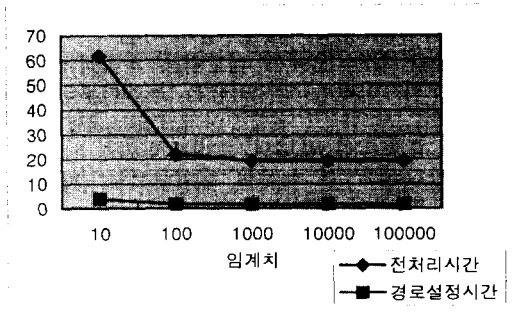
볼륨데이터로 표현된 3차원 가중치 공간상에서의 경로 설정기를 실험하기 위하여 입력데이터로는 128\*128\*128의 4byte 복셀(Voxel)로 구성된 볼륨데이터를 그레이 레벨화하여 사용하였고 Ultra Sparc 60상에서 실험하였다.

아래의 결과들은 주어진 임계치에 대해서 최적경로를 설정하는데 소요된 시간을 나타낸다. 볼륨의 중앙에 구형의 장애물(가중치가 무한대)이 존재할 때(데이터1)와 장애물이 볼륨데이터내의 각 부분에 균등하게 존재할 때(데이터2)에 결과를 측정한 그래프이다.



그래프 1)

위의 그래프를 살펴보면 임계치값이 커짐에 따라 경로설정시간이 감소함을 알 수 있다. 이는 가중치 8진트리의 특징으로서 임계치값이 커짐에 따라 잎노드의 개수가 줄어들기 때문이다. 잎노드의 개수가 줄어들면 경로설정기에 필요한 그래프의 복잡도가 낮아지게 되므로 전체 경로 설정시간이 줄어들게 된다. 위의 시간은 볼륨데이터를 전처리하는 시간도 포함되어있다. 전처리 시간이 차지하는 비중은 그래프2)를 통하여 알 수 있다.



그래프 2)

그래프2)에서는 데이터1에 대한 전처리시간과 경로 설정시간의 비교 그래프를 나타내었다. 거의 10배에 이르는 시간이 전처리 과정에 필요하다. 그러나 일단 한번 가공된 볼륨은 출발점과 끝점이 바뀌어도 계속적으로 사용할 수 있으므로 두번째 경로설정부터는 경로설정시간에서 전처리과정이 필요없으므로 시간에서 제외될 것이다. 설정된 경로의 결과는 아래 그림2)에서 확인 할 수 있다. 그림2)는 data1에 대한 실험결과이다.

### 6. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 가중치 3 차원 공간상에서의 최적의 경로설정기를 위한 전체 구조를 정의하고 실제 구현을 통하여 문제를 제기하고 분석하였다. 가중치 3 차원 공간은 그 데이터 사이즈가 수십 Mbytes 에서 수백 Mbytes 이상에 이른다. 이러한 볼륨데이터를 효율적으로 표현하고 관리해야 할 것이다. 그리고 데이터의 종류 즉, 가중치의 분포형태에 따라 그것의 임계치가 미치는 영향이 다양하게 나타남으로 이를 다양한 환경에 대해서 실험하고 분석해야 할 것이다.

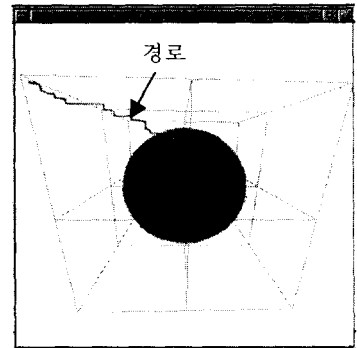


그림 2)

### 참고문헌

- [1] H.samet, "Neighbor finding techniques for images represented by quadtrees," Computer Graphics and Image Processing, vol18, pp.37-57, 1982
- [2] J.S.B Mitchell, D.W.Payton, and D.M. Keirsey, "Planning and reasoning for autonomous vehicle control", International J. of Intelligent Systems, vol2, pp. 129-198, 1987
- [3] E.W.dijkstra, "A note on two problems in connection with graphs", Numerische Mathematik, vol.1, pp-269-271, 1959