

# 지하 단층구조 검색시스템 개발에 관한 연구

방갑산

한성대학교 정보시스템공학과  
e-mail: ksbang@hansung.ac.kr

## A Study on Developing Subsurface Default Detection System

Kapsan Bang

Dept of Information System Engineering, Hansung University

### 요 약

공간정보의 처리에는 방대한 양의 자료가 분석되어야 하므로 강력한 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 성능이 뒷받침 되지 못했던 80/90년대와 달리 최근에 비약적인 발전을 가져온 분야중의 하나이다. 공간자료구조는 지리정보시스템(GIS)의 핵심엔진으로서 이를 활용한 공간정보의 분석과 처리는 수많은 응용을 갖고 있으며 파생되는 응용분야가 날로 증가하고 있는 추세에 있다. 그러나 대부분의 지리정보는 지상에 대한 것으로서, 지하정보에 대한 연구는 지하정보의 비가시적인 특성상 현재 초기단계라고 할 수 있다. 본 논문은 탄성파를 이용하여 얻어진 지하 지층구조 정보를 분석하여 지층구조를 파악하고, 공간자료구조를 활용하여 지하 단층대를 분석하고 검색하는 시스템 개발 방법을 제안하고 이와 관련된 사항을 기술하였다. 지하 단층대의 확인 작업은 다양한 지상/지하 구조물의 안정성에 중요한 역할을 하는 자료가 된다. 공간자료구조를 활용하여 지하지층을 인식하는 시스템의 개발은 지질전문가의 해석을 위한 전처리 시스템으로서 중요한 역할을 할 것이다.

### 1. 서론

최근의 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 비약적인 발전에 의해 대용량의 다차원 공간정보의 효율적인 처리가 가능해짐에 따라 공간데이터분야가 최근에 급속히 발전되어가고 있다. 이러한 활발한 연구의 결과로 지형공간정보의 효율적인 처리가 가능한 지리정보시스템(GIS)과 같은 분야가 비약적인 발전을 하고 있다. 대부분의 지리정보시스템의 응용분야는 지상에 존재하는 대상물을 처리하는 것을 목적으로 개발되고 있다. 반면, 지하지형에 대한 체계적인 분석과 연구 그리고 축적된 정보를 효율적으로 저장/활용하는 시스템에 대한 연구는 지하정보의 비가시적인 특성상 아직은 초기단계라 할 수 있다. 지하 광물자원을 탐사하기 위해 일부 지역에 제한된 수의 시추공을 굴착하거나 갱도를 통해 직접 지하 광물과 일부 구조를 파악 할 수도 있으나 이는 매우 제한적

인 범위에서 행하여지므로 전체의 광물에 대한 분포나 특히 지하 지형의 전반적인 구조를 파악 하는 데 한계가 있다. 따라서 보다 넓은 지역의 지하 구조를 파악하기 위해 탄성파가 많이 활용되고 있다. 탄성파를 통해 얻어진 자료를 처리하여 다양한 분야에 필요한 많은 정보를 얻을 수 있으나 처리과정에서 지질전문가의 해석이 요구된다. 또한 얻어지는 정보의 양이 방대하고 3차원의 정보로 확대하여 해석할 경우 전문가의 주관적인 해석에 의한 데이터 처리는 한계를 가질 수밖에 없다. 지하구조 가운데서 지층의 단층상태를 시스템으로 인식하는 작업은 거의 시도되지 않고 있는 상태이다. 본 논문은 지하 지층을 공간자료구조를 활용하여 인식하는 시스템 개발과 관련된 기술적인 방법을 제안하고 이와 관련된 사항을 기술하였다.

## 2. 관련연구

### 2.1 탄성과 데이터

탄성과는 암석이나 광물의 탄성의 차에 의한 전파 속도를 측정하고, 이를 해석하는 탐사법이며, 탄성과 탐사법이 가장 광범위하게 이용되는 분야는 석유탐사분야, 지반 및 복잡한 지질구조를 조사할 때도 사용한다. 탄성과 탐사에는 반사법 탄성과(reflection survey)와 굴절법 탄성과(refraction survey) 탐사의 두 가지가 있다.

본 논문에서 사용된 연구지역은 미국 north-central Texas의 Fort Worth Basin에 위치한 Boonsville 천연가스 field이다 (그림 1).

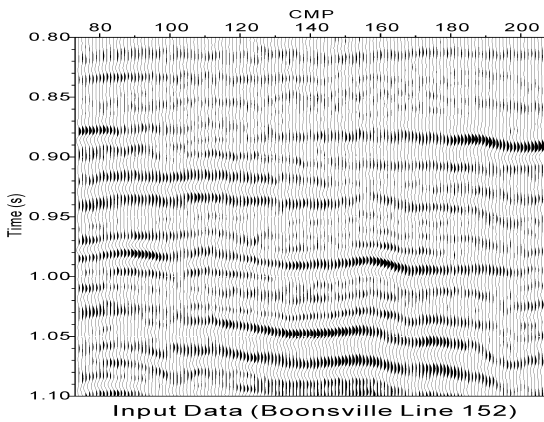


그림 1. 탄성과 데이터

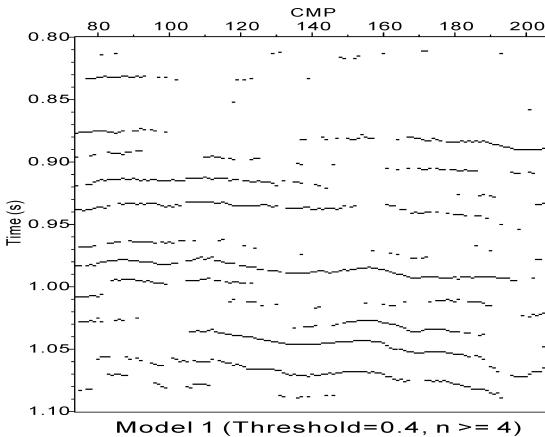


그림 2. 그림 1(threshold= 0.4)에 대한 thinning

### 2.2 공간자료구조

공간자료구조[5, 6]의 연구가 처음으로 시작된 것은 70년대 후반이지만 본격적인 연구는 80년대 후반부터 시작되어 현재 이 분야에 대한 연구가 활발하게 진행이 되고있다. 그러나, 1차원 자료구조 분야와는 달리 응용분야에 따라 데이터의 분포와 질의의 형태가 다르며 공간자료구조에서 공간분할에 고려되

어야 할 요소가 많기 때문에 공간자료구조의 선택이 전체시스템의 성능에 결정적인 영향을 미친다.

이 논문에서 제안하는 지하단층 인식 시스템에 가장 적절한 공간자료구조는 공간상에서 포인트 데이터를 구성하고 검색하는데 가장 효과적인 자료구조로서 알려져 있는  $R^+$ -tree[5, 6]이다.  $R^+$ -tree는  $R$ -tree[2]의 변형이다.  $R^+$ -tree의 노드분할 알고리즘은 노드분할 경계상의 모든 index rectangle들을 양분함으로써 이들이 서로 중첩되지 않도록 한다. 이러한 중복된 객체 엔트리는 결국 노드의 수를 증가시켜 검색영역이 커지는 경우 성능에 치명적인 영향을 미치게 된다.  $R^+$ -tree가 면적을 갖는 데이터의 구성에 있어서는 중복된 데이터에 의한 overhead 때문에 검색면적이 늘어남에 따른 검색성능의 지연이 가장 큰 단점이지만 검색 영역이 아주 작은 경우에 어떠한 공간 색인구조 보다 우수한 성능을 보인다. 단층인식 시스템에서는  $R^+$ -tree가 각 지층을 구성하는 object의 시작점과 끝점의 포인트 데이터로 구성되므로  $R^+$ -tree의 장점을 최대한 활용할 수 있다.

### 3. 단층인식기법

본 논문에서 사용된 입력 데이터는 Boonsville 지역에서 얻어진 광범위한 3차원 탄성과 데이터로서 그림 2는 3차원 데이터중의 하나의 수직 2차원 단면 데이터 중의 일부만을 보여주고 있다. 실제로 얻어진 데이터는 광범위한 지역에 걸친 3차원의 데이터로 구성되어있다. 그림 2에서의 데이터는 래스터 형태로서 351 X 70 개의 셀로서 구성되어있다. 각 셀은 0또는 1의 값을 갖는데, 해당 셀의 위치에서 탄성과의 강도가 주어진 threshold이상인 값을 가질 때 1로서 표현된 것이다. 주어진 입력데이터(그림 2)는 아래와 같이 정의된 2차원의 구조체 배열에 저장한다.

```
struct cell_type {
    unsigned value:1; //cell의 값을 표현
    unsigned flag: 1; //cell의 방문 여부를 표현
};
```

#### 3.1 지층 object의 검색

단층인식의 첫 번째 단계로서 주어진 입력 데이터(그림 2)로부터 지층을 구성하는 object를 인식하여 파악된 object들을 리스트로 구성하는 것이다. 즉, 연속된 1의 값을 가진 셀 들을 파악하여 그것을 하

나의 지층 object로서 인식하는 것이다. 각각의 지층 object에 대하여 말단점 들을 검색한다. 검색된 object와 그에 속한 말단점의 좌표값 들은 연결리스트에 저장되고 또한 차후에 파일로 저장된다.

각 셀에 flag값을 사용하여 이미 검색되어 하나의 object의 구성원으로 사용된 셀을 중복하여 방문하면서 검색하는 비효율을 방지한다. 셀 값으로 구성된 구조체 배열을 행 위주(row major) 방식으로 읽으면서 0이 아니면서 flag값이 0인 셀을 만나면 해당 셀의 flag를 1로 설정하고 그 셀의 위치에서 이동 가능한 8가지 방향으로 검색을 한다.

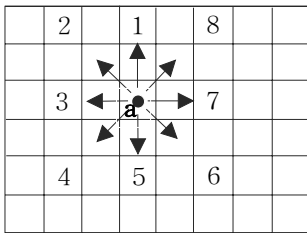


그림 3. 말단점 검색방향

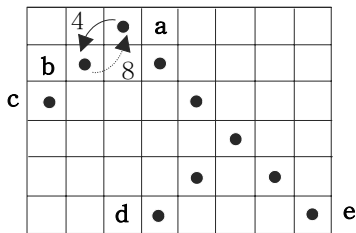


그림 4. object 인식 경로

그림 3에서 셀 a의 flag이 0인 경우 셀 a의 연속한 셀들이 연결되어 있는지를 검사하기 위한 방향은 모두 8가지이다. 셀 a에서 말단점 발견을 위한 이동 방향을 왼쪽 또는 오른쪽으로 분리하여 한쪽 방향으로만 후속 셀의 검색을 진행시킬 경우 검색과정에서 역방향의 edge가 검색되지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 그림 4에서 셀 a를 방문한 다음 오른쪽 검색을 위해 3가지 방향으로 진행시킬 경우 오른쪽 끝점인 e를 발견할 수 있으나 진행방향과 반대편으로 구성된 edge d를 검색할 수 없다. 하나의 지층 object가 여러 갈래의 경로를 취할 수 있는 가능성이 있기 때문이다. 따라서 모든 방문한 셀에서 이동 가능한 모든 8방향으로 검색 알고리즘을 재귀적으로 수행하여 모든 말단 점을 검색하여야 한다. 그림 4의 경우 셀 a에서 모든 가능한 8방향의 검색을 반복적으로 진행하다가 4번 방향에 셀 b가 연결되어 있음을 발견하면 검색 알고리즘은 셀 b에 대하여

재귀적으로 검색알고리즘을 수행한다. 이 경우 셀 b는 부모 셀의 방향을 검색에서 제외하여야만 검색 경로를 거슬러 올라가는 경우를 방지할 수 있다. 따라서 자식 셀의 검색경로는 모두 7가지 경우가 된다. 그림 4에서 셀 b의 검색경로 중에 8번 방향은 제외된다. 부모 셀에서 자식 셀로의 검색방향에 대한 자식 셀에서 부모 셀의 방향은 아래와 같다.

부모방향	1	2	3	4	5	6	7	8
자식방향	5	6	7	8	1	2	3	4

그림 4에서 셀 a가 최초로 방문되었을 때 왼쪽과 오른쪽으로 이동하면서 말단 셀(c, d, e)을 발견하는 알고리즘은 다음과 같다.

Scan( )

1. 해당 셀의 flag값을 1로 설정한다
2. 자식 셀의 8방향 각각에 대해 반복한다
  - if 자식 셀 방향이 부모 셀 방향이 아니면
  - 자식 셀 방향의 좌표값을 생성한다
  - if 생성된 좌표가 적절하면
  - 재귀적으로 Scan( )을 호출한다
  - else counter를 증가한다
3. if counter >= 7 인 경우 말단점이 된다
  - 말단점을 위한 구조체를 생성하고 해당 말단점이 속한 object 구조체에 저장한다.

발견된 말단 셀들은 아래와 같이 정의된 구조체 리스트에 저장한다:

```

struct object_node {
    int object_id;
    int terminal_count;
    struct terminal_node * terminal_pointer;
    struct object_node *next;
};

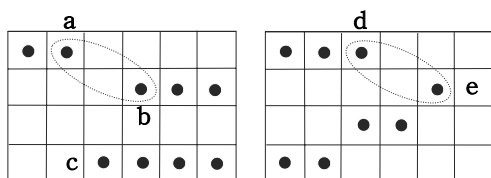
struct terminal_node {
    int r; //row: y coordinate
    int c; //column: x coordinate
    int terminal_id;
    struct terminal_node *next;
};
    
```

각 object는 ID가 부여되어 식별되며, 해당 object의 말단 셀의 정보를 연결리스트로서 저장한다. 말단셀을 표현하는 정보인 좌표값, 말단셀 ID가 저장된다.

동일한 object에 소속된 말단 cell들은 서로 단층을 이루는 쌍을 구성할 수 없기 때문에 object ID를 사용하여 불필요한 검색을 피할 수 있다.

### 3.2 지층 object의 구성과 단층 검색

단층검색의 두 번째 단계는 첫 번째 지층 object 검색과정에서 발견된 말단점의 좌표값을 활용하여 공간자료구조인  $R^+$ -tree를 구성한다. 세 번째 단계에서는 각 각의 말단점에 대하여 가장 인접한 다른 object에 소속된 말단점을 검색하여 그중에 가장 높은 확률을 가진 object를 결과 값으로 반환한다. 발견된 말단 셀의 좌표로서  $R^+$ -tree를 구성한다. 셀의 위치는 단순한 점으로서 x, y 두 개의 좌표로서 구성될 수 있다.  $R^+$ -tree의 구성이 매우 간단해지고  $R^+$ -tree의 공간분할이 이러한 포인트 데이터를 구성하는데 최적의 성능을 발휘할 수 있다. 구성된  $R^+$ -tree에 대해 검색 대상이 되는 말단셀 리스트에 저장된 각 셀에 대하여 가장 근접한 셀을 검색한다. 검색방식은 주어진 셀의 위치에서 가장 인접한 이웃(nearest neighbor) 셀을 발견하는 방식이다. 최초의 검색범위 크기는 전체 object의 평균길이를 사용하여 설정하고 최소검색에서 검색범위에 포함되는 셀이 발견되지 않을 경우 검색범위를 확장시켜 검색을 진행한다. 검색범위의 확장범위도 object의 평균길이와 축적된 실험의 결과에서 얻어진 값을 사용하여 조정한다. 또한 검색범위가 일정크기 이상으로 확대되어도 검색에 실패하는 경우 해당 지층과 match되는 지층이 존재하지 않는 것으로 한다. 검색범위에서 발견된 셀 중에서 object ID를 비교하여 동일한 ID를 가진 object를 제거한다. 이것은 동일한 지층 object의 시작과 종료좌표가 하나의 단층구간으로 인식되는 것을 방지하기 위한 것이다.



(a) (b)  
그림 5. 검색 결과의 해석

발견된 object 쌍은 각 object의 접근 방향에 따라 두 가지 경우로서 구분된다. 첫째, 그림 5(a)의 셀 a, b와 같이 접근방향이 서로 다른 경우 둘째는 그림 5(b)의 셀 d, e와 같이 접근방향이 동일한 경우

이다. 첫 번째 경우는 단층의 가능성이 매우 높으나 두 번째 경우는 단층을 이루는 가능성이 상당히 희박하다. 그러나 접근방향이 서로 같은 경우라 할지라도 그림5(b)에서 보는 바와 같이 단층이 발생한 다음 지층변화에 의해 방향이 변화되는 경우도 발생할 수 있기 때문에 이러한 검색결과를 하나의 단층구간을 구성하는 후보로서 list에 저장하여 최종적인 검색이 종료된 후에 Arc/view[3]와 같은 시각화 도구를 사용하여 해당구간을 표시하여 지질 전문가의 최종적인 해석을 위한 전처리 과정이 된다.

### 4. 결론

최근에 지리정보시스템과 같은 정보의 시각화는 컴퓨터 기술의 중요한 한 부분으로서 그 응용분야의 영역이 점차 커지고 있다. 지하 지층 분포를 체계적으로 분석하기 위한 연구는 지하 광물자원에 대한 정보 또는 지상의 구조물에 대한 안전성 평가에 대단히 중요한 역할을 한다. 본 논문은 지하 단층을 공간자료구조를 활용하여 인식하는 시스템 개발 방법을 제안하고 이와 관련된 사항을 기술하였다. 이러한 시스템의 개발은 지질 전문가의 지질모델 작성 및 해석을 할 수 있는 전처리 시스템으로서 중요한 역할을 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] Tor Bernhardsen, Geographic Information System, Norwegian Mapping Authority, 1992.
- [2]Guttman, A., R-trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching, Proc. of the ACM SIGMOD, pp. 47-57, 1984.
- [3] Understanding GIS, The Arc/Info Method, 1994.
- [4] Michael F Goodchild, Introduction to GIS, National Center for Geographic Information and Analysis Univ. of California, 1991.
- [5]Hoel, E. G., and Samet, H., A Qualitative Comparison Study of Data Structures for Large Segment Databases, ACM SIGMOD, pp. 205-214, 1992.
- [6]Sellis, T., Roussopoulos, T. and Faloutsos, C.,  $R^+$ -tree: A Dynamic Index for Multi-dimensional objects, Proc. of the 13th VLBD Conference, pp. 507-518, 1987.