

모바일 환경에서 지도 서비스를 위한 효율적인 공간 데이터 캐시 알고리즘

문진용*

요약

최근 무선 네트워크의 확산, 모바일 기기의 성능 향상, 서비스에 대한 수요 증가와 함께 모바일 지리 정보서비스에 대한 관심이 높아지고 있다. 기존의 유선 환경기반의 지리 정보 시스템 솔루션으로 무선 환경에서 서비스를 하기에는 제한된 통신 속도, 처리 속도, 화면 사이즈 등의 한계점이 존재한다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 클라이언트 측의 캐시 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 알고리즘은 단위 시간과 공간 근접성의 개념을 이용하여 기존의 연구를 개선한다. 그리고 효율성의 향상 정도를 측정하기 위해 성능 평가를 실시하고 결과를 분석한다. 성능 평가 결과, 공간 데이터의 질의 시에 기존의 알고리즘에 비하여 적중률이 있어서 보다 좋은 성능을 나타내었다.

키워드 : 캐시, 모바일 지리 정보 시스템, 성능 평가, 공간 데이터, 공간 근접성

An Efficient Spatial Data Cache Algorithm for a Map Service in Mobile Environment

Jin-Yong Moon*

Abstract

Recently, the interests of mobile GIS technology is increasing with the spread of wireless network, the improvement of mobile device's performances, and the growth of demands about mobile services. Providing services in a wireless environment with existing wired-based GIS solutions have many limitations such as slow communication, processing rates and screen size. In this paper, we propose a cache algorithm on client side to solve the above problems. The proposed algorithm demonstrates the performance improvement over known studies by utilizing unit time and spatial proximity. In addition, this paper conducts a performance evaluation to measure the improvement in algorithm efficiency and analyzes the results of the performance evaluation. When spatial data queries are conducted, according to our performance evaluation, hit rate has been improved over the existing algorithms.

Keywords : Cache, Mobile GIS, Performance Evaluation, Spatial Data, Spatial Proximity

1. 서론

지리 정보 시스템 분야에서도 모바일 기술을

접목하여 모바일을 통해 지리 정보 서비스를 제공하기 위한 모바일 GIS에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 [2,6]. 모바일 GIS는 플랫폼에 독립적이므로 일반 사용자들은 공간과 시간의 제약을 받지 않고 손쉽게 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만, 현재와 같이 폭발적으로 증가하는 네트워크의 트래픽 상황에서 상대적으로 용량이 큰 공간 데이터의 특성 때문에 모바일 GIS 사용자들에게 응답 시간의 지연, 네트워크의 과도한 트래픽, 그리고 서버의 과부하 문제가 발생하게 된다 [6,10].

※ Corresponding Author : Jin-Yong Moon

Received: February 22, 2015

Revised: April 18, 2015

Accepted: April 20, 2015

* Gangdong University Dept. of Visual Broadcasting Media

Tel: +82-43-879-3435, Fax: +82-43-879-3435

email: jmoon@gangdong.ac.kr

본 논문에서는 모바일 GIS의 문제점 중에서도 위와 같은 문제를 해결하기 위해 적중률을 높일 수 있는 캐시 알고리즘을 제시하고자 한다. 사용자 응답 시간의 지연은 모바일 GIS 클라이언트에서의 캐시의 적중률을 높임으로써 서버와 클라이언트간의 통신 트래픽 문제를 효과적으로 개선할 수 있다.

제시하는 알고리즘은 기존의 방식에 비해 공간 근접성(Spatial proximity)과 단위 시간(Unit time)의 개념을 이용한다는 점에서 차별화 될 수 있다. GIS 분야에서 이미 잘 알려진 특성으로 접근되는 객체들 간의 지역성이 있다는 점이다. 모바일 GIS를 위한 캐시를 설계할 때, 공간 근접성에 대한 추가 정보를 이용하면 기존의 방식에 비해 캐시 적중률을 높일 수 있다. 캐시 적중률의 향상은 결과적으로 클라이언트와 서버간의 접속 회수 및 통신량 감소로 이어지기 때문에 사용자 응답 시간 지연을 효과적으로 개선할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 모바일 GIS에서 사용되고 있는 공간 데이터의 특성과 기존 교체 알고리즘에 대해 살펴보고, 3장에서는 연구 환경 및 제안된 알고리즘을 상세하고, 4장에서는 기존의 알고리즘과의 성능 비교를 통해 기존의 알고리즘에 대한 성능 개선 여부를 검증하여 본다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대하여 언급한다.

2. 관련 연구

2.1 공간 데이터의 특성

모바일 GIS에서 사용되는 공간 데이터는 공간상의 지리 표현 객체로 복합적으로 표현되는 가변 길이 데이터이다 [8,10]. 공간 데이터들은 그 형태와 무관하게 대부분이 비정형이며 그 크기가 방대하다는 특성을 가진다. 또한, 모바일 GIS는 공간 데이터 외에 이에 관련된 특징을 포함하는 속성 데이터를 관리해 주어야 한다.

모바일 GIS에서 사용되는 공간 데이터의 특성을 정리하면 다음과 같다 [9]. 첫째, 공간 데이터는 단순 객체가 아닌 복합 객체이다. 둘째, 공간 데이터들은 그 크기가 가변적이며 일반적으로 방대하다. 따라서 모바일 GIS에서의 캐싱

은 사용자의 지연 시간 감소와 네트워크 트래픽의 경감을 위해 이러한 공간 데이터의 특성을 고려해야 한다.

2.2 교체 알고리즘

현재 모바일 캐시를 위해 연구된 기존의 알고리즘들은 다음과 같이 크게 3가지로 분류할 수 있다.

첫째, LRU, LFU와 같은 기존의 교체 알고리즘들을 가변크기 객체라는 특수성을 갖는 모바일 분야에 응용·적용하는 것이다. LRU는 크기가 서로 다른 객체를 처리하기 위해 기존의 LRU 기법의 확장이라 할 수 있다 [3]. 이 기법은 새롭게 들어오는 모바일 객체의 여유 공간을 마련하기 위하여 가장 오랫동안 사용되지 않은 객체부터 삭제하는 방식이다. 이렇게 하면, 삭제되는 객체는 0개에서부터 수많은 객체까지 캐시에서 삭제될 수 있다.

LRU-K는 각 객체의 마지막 K번의 참조 시간을 기억한다. 그리고 잦은 사용 빈도를 가진 것과 아닌 것을 구분함으로써 LRU 보다 나은 성능을 제공한다. 즉, 각 객체들의 참조되는 시간 간격을 따로 저장해서 이를 다시 알고리즘에 반영하고, 이렇게 자치적으로 파라미터를 바꿈으로써 능동적으로 동작이 가능하고, 한 객체의 현재 참조 빈도와 과거 참조 빈도를 구분함으로써 변화하는 참조 형태에 적용할 수 있다 [5,7].

둘째, 키에 기반을 둔 교체 알고리즘들이다. SIZE는 참조가 많지만 작은 크기의 객체가 큰 객체의 삽입으로 제거되는 상황을 막기 위해 새로 삽입되는 객체의 여유 공간이 생길 때까지 크기가 가장 큰 객체부터 차례로 제거하는 전략이다 [4].

셋째, 전송비용, 객체의 유효기간 등과 같은 비용에 기반한 알고리즘이다. GD(Greedy Dual)-Size 알고리즘은 전송비용/객체크기가 가장 낮은 객체를 캐시 공간에서 삭제한다 [5,12].

3. 알고리즘의 설계

3.1 연구 환경 및 가정

본 논문에서는 모바일 기반의 클라이언트/서버 모델의 모바일 GIS를 연구의 대상으로 한다.

서버에서 관리하는 공간 데이터는 벡터 데이터로써, 클라이언트로 전송되는 데이터 역시 벡터 데이터이다. 서버의 공간 데이터 관리를 위한 공간 인덱스는 고정 그리드 파일이 사용되고 있다고 가정함으로 각 그리드 셀 내의 공간 데이터는 하나의 페이지에 저장되며, 여러 셀에 겹치는 공간 데이터는 객체 자체가 쪼개져 저장되어 중복 참조되는 공간 데이터는 존재하지 않는다.

클라이언트는 공간 처리 및 분석 등의 복잡한 연산보다는 단순히 지도 보기를 주된 작업으로 하기 때문에, 대부분의 사용자 응답 시간 지연은 지도 출력의 지연으로 발생한다. 클라이언트는 사용자가 화면으로 출력하려는 영역과 겹치거나 포함하는 셀 데이터를 서버에 요청한다. 각각의 셀에 포함된 데이터는 서버에서 하나의 페이지에 할당되어 저장되어 있으므로, 셀 단위의 데이터 전송은 페이지 단위의 전송을 의미한다.

또한, 클라이언트 캐시의 도입으로 발생하는 공간 데이터 중복으로 인한 일관성 유지 문제와 객체 식별자 유지(Swizzling) 문제는 다루지 않는다. 일관성 유지 문제는 기존 연구의 캐싱 일관성 유지 기법을 적용하여 해결하는 것으로 가정한다. 또한, 객체 식별자 유지는 특정 영역의 공간 데이터를 화면에 출력하는 것을 기본 기능으로 하는 모바일 GIS에서는 중요한 문제가 아니므로 이 논문에서는 언급하지 않는다.

3.2 모바일 GIS의 캐시 알고리즘

본 논문의 알고리즘은 기본적으로 LFU의 개념을 사용한다. 하지만, 단위 시간의 개념을 사용하여 우선 LRU-K처럼 잦은 사용 빈도를 가진 페이지와 그렇지 않은 페이지를 구분하기 위해 각 캐시의 참조 회수를 단위 시간 내에 행해진 것과 단위 시간 후에 행해진 것으로 구분해서 저장한 후, 교체될 캐시를 찾을 때 먼저 단위 시간 내에 행해진 참조 회수를 가지고 비교한다.

그리고 이 값이 같을 경우 단위 시간 후에 행해진 참조 회수를 가지고 다시 비교한다. 또한, 이를 위해 사용한 단위 시간을 LFU의 치명적인 단점인 영역 질의에서 캐시의 개수가 많아질 때 오히려 성능이 더 떨어지는 것을 보완하

기 위해 사용한다. 즉, 단위 시간 내에 행해진 참조 회수를 가지고 비교하기 전에, 캐시에 있는 페이지 중 단위 시간 동안 참조되지 않은 것이 있는지를 검사한다. 만일 있다면, 이를 대치 대상으로 결정한다. 이렇게 함으로써 변화하는 참조의 형태에 적용할 수 있게 된다.

이렇게 해서도 교체 대상을 찾지 못하면, 가장 최근에 사용된 페이지를 선택한다. 왜냐하면, 모바일 GIS에서는 영역 질의의 경우에 가장 최근에 사용된 페이지가 계속해서 참조되는 것이 아니라 과거에 참조된 페이지가 주기적으로 참조되는 패턴을 가지기 때문이다.

이를 바탕으로 본 논문에서 제안하는 모바일 GIS를 위한 클라이언트 측의 교체 알고리즘을 나타낸 것이 (그림 1)이다. 표현을 명료화하기 위해 탐색을 빠르게 하기 위한 추가적인 자료 구조와 각 페이지에 가중치를 주는 부분은 생략했다.

(그림 1) 제안된 알고리즘

```

if(p is already in the cache)then
  if(t-time(p) > Unit time)then
    increment Unrelated_Reference_Counter(p) by 1
  else
    increment Correlated_Reference_Counter(p) by 1
  time(p)=t
//end_if
else
  min=MAX NUMBER
  for(all pages q in the cache)
    if(t-time(q) > Unit time)then
      victim=q
      min=MIN NUMBER
    //end_if
    if(Correlated_Reference_Counter(q) < min)then
      victim=q
      min=Correlated_Reference_Counter(q)
    //end_if
    else if((Correlated_Reference_Counter(q) = min)and
(Unrelated_Reference_Counter(victim)
< Unrelated_Reference_Counter(q))or(time(victim) <
time(q))then
      victim=q
    //end_for
  fetch p into victim
  if(t-time(p) > Unit time)then
    increment Unrelated_Reference_Counter(p) by 1
  else
    increment Correlated_Reference_Counter(p) by 1
  time(p)=t
//end_else
    
```

(Figure 1) Proposed algorithm

본 논문에서 제안한 알고리즘은 우선 검색해야 하는 공간 데이터를 가진 페이지 p가 캐시에

있는지를 검사한다. 그렇다면, 이 참조가 단위 시간 내에 행해진 것인지 아닌지를 검사해서 그에 맞게 참조 계수를 증가시킨다. 캐시에 없다면 우선, 캐시에 있는 페이지 중 단위 시간 동안 참조되지 않은 페이지를 찾는다. 만일 있다면, 이를 교체시킨다. 하지만, 없다면 단위 시간 내의 참조 횟수가 가장 적은 캐시나 단위 시간 후의 참조 횟수가 가장 적은 캐시, 그리고 참조된 시간이 가장 오래된 캐시를 찾아서 이 캐시에 필요한 페이지를 교체한다. 교체가 끝나면, 이 페이지로의 참조가 단위 시간 내에 행해진 것인지 아닌지를 검사해서 그에 맞게 참조 계수를 증가시킨다. 마지막으로 교체된 캐시의 시간을 참조될 때의 시간으로 지정한다.

4. 성능평가

4.1 실험환경

본 논문에서는 성능 평가를 위해서 HP Z840 워크스테이션에서 운영체제로는 우분투 14.10을 사용하였고, 컴파일러는 gcc 4.9를 사용하였다.

4.2 성능 평가 결과

본 논문에서 비교 대상으로 LRU와 LRU-K 알고리즘을 선택한 이유는 LRU-K가 LRU를 개선한 방법이고, LRU와 LRU-K의 구현이 다른 알고리즘들에 비해 쉽기 때문이다. LFU의 경우, 실험 결과 LRU보다 조금 나은 성능을 보이지만, 영역 질의의 경우에 캐시의 개수가 많아질 경우, 오히려 그 성능이 떨어지는 결과를 보였다. LRU-K는 K가 2인 경우를 예를 들었다. LRU-3도 실험해 보았으나 LRU-2와 별로 성능 차이를 보이지 않았다.

전체 페이지의 수는 가로×세로, 32×32, 1024로 가정하고, 각 페이지의 크기는 345×345로 가정한다. 이는 우리나라의 남한 지형만한 크기로써 앞에서 언급한 바와 같이 공간 데이터는 실제로 가변 길이 데이터이지만, 여기서는 실험의 편의를 위해 고정 그리드 인덱스를 사용하는 페이지로 제한한다.

본 논문에서 제시한 알고리즘의 단위 시간은 캐시의 수나 다른 파라미터에 영향을 받지 않고, 단지 반경 r 에 해당하는 페이지 수에만 영

향을 받음을 알 수 있었다. 따라서 단위 시간은 반경 r 에 해당하는 페이지 수×1.5로 하였다.

영역 질의의 경우, 모바일 GIS에서의 공간 근접성의 특성을 보이므로 중심점에서 먼 객체일수록 그 참조 확률이 떨어진다. 즉, 식 1이 성립하게 된다.

식 1

$$\text{참조 확률} = \frac{\alpha}{\text{중심점과 공간 객체 사이의 거리}}$$

여기서, α 는 임의의 상수이다.

따라서 각 공간 객체에 할당할 수 있는 가중치는 식 2와 같다.

식 2

$$\text{가중치} = \beta(r - \text{중심점과 공간객체 사이의 거리})$$

여기서, β 는 임의의 상수이다.

이 가중치를 각 객체에 할당할 경우, 더 높은 성능을 보일 수 있다. 여기에서의 거리는 유클리드(Euclidean) 거리이며 아주 정확한 가중치가 필요한 것이 아니라, 근사한 가중치만이 필요하고, 또한 수행 속도를 빠르게 하기 위해 중심점이 (X, Y)이고, 객체의 첫 번째 데이터의 좌표가 (x, y)라면, 거리 = $|X - x| + |Y - y|$ 가 된다. 따라서 이를 각각의 알고리즘에 모두 반영하면 보다 나은 성능을 보일 수 있다.

영역 질의시, 가장 최소한으로 필요한 캐시의 크기는 반경 r 을 포함하는 객체의 수이다. 만약 이 최소한의 캐시의 크기보다 작게 할당을 하게 되면, 실험 결과는 많게는 15%까지 떨어지는 결과를 보였다. 따라서 최소한의 캐시의 크기는 식 3과 같다.

식 3

$$\text{캐쉬의 수} = \left\lceil \frac{\text{반경 } r}{\text{한 블록의 가로크기}} \right\rceil + \delta$$

여기서 δ 는 임의의 상수이다.

하지만, 본 논문에서는 같은 크기의 캐시에 대해 여러 반경에서 실험을 했으므로, 위의 수식을 적용하지는 않았다.

<표 1> 영역 질의의 성능 평가 결과(단위: %)

Cache Algorithm	9	11	13	15	17	21	24	27
LRU	2.9	4.9	4.3	6.8	7.5	9.8	9.6	11.9
LRU-K	11.1	44.8	61.6	70.9	70.2	70.1	70.2	70.2
Proposed Algorithm	41.3	53.1	62.8	71.2	70.4	70.9	70.3	71.1

<Table 1> Performance Evaluation of Region Query(unit: %)

<표 1>은 반경 r을 변경시켜 가면서 측정된 영역 질의시의 적중률의 평균치를 나타낸다. 본 논문의 알고리즘은 캐시의 수가 적을 때는 다른 알고리즘에 비해 성능이 월등히 우수했지만, 캐시의 수가 많아지면 LRU-K와 비슷해졌다. 또한, 영역 질의를 처리할 때, 캐시의 수에 크게 영향을 받지 않고, 거의 비슷한 성능을 나타내었다.

점 질의의 경우에는 임의의 좌표 데이터를 검색하는 질의가 연속적으로 들어오는 경우를 가정하여 실험하였다. <표 2>는 실험 결과를 나타내고, 각 알고리즘마다 그 차이가 영역 질의시보다 거의 없었다. 이것은 점 질의의 경우, 참조의 형태가 난수적인 형태라서 어떤 알고리즘이든지 최적의 상황이 될 수 없기 때문이다.

<표 2> 점 질의의 성능 평가 결과(단위: %)

Cache Algorithm	9	19	29	39	49	59	69
LRU	10.1	19.8	23.4	31.5	42.0	51.2	58.9
LRU-K	15.6	21.4	26.2	35.2	45.3	55.4	61.2
Proposed Algorithm	19.2	24.4	28.5	39.0	49.7	56.6	62.1

<Table 2> Performance Evaluation of Point Query(unit: %)

5. 결론

최근 모바일의 급속한 확산과 휴대장치 기술

의 발전으로 모바일 지도 서비스가 보편화되고 있다. 이동이 자유로운 모바일 컴퓨터는 향후 정보 소비의 주체가 된다는 점을 감안할 때 모바일 GIS는 GPS와 연동한 LBS, 물류 관리 시스템, 그리고 관광지 안내 등 많은 응용 분야를 창출하고 있다. 특히 보급률이 매우 높은 스마트폰에서의 지도 서비스는 대표적인 콘텐츠가 되고 있다.

본 논문에서는 모바일 GIS를 위한 캐시 알고리즘을 제안하였다. 성능 평가 결과 제안된 알고리즘은 LRU나 LRU-K에 비해 보다 나은 성능을 발휘하였다. 본 논문의 알고리즘은 클라이언트 측 캐시의 크기나 다른 파라미터에 따라 그 성능이 크게 차이가 나지 않았다. 즉, 영역 질의의 경우, 반경을 더 크게 해도 차이가 별로 나지 않았다. 하지만, LRU-K는 캐시의 개수나 반경에 따라 그 성능의 차이가 현저히 나타났다. LRU는 다른 알고리즘에 비교하여 그 성능 차이가 너무 심해서 모바일 GIS와 같은 대용량의 공간 데이터를 처리해야 하는 상황에서는 적합하지 않음을 알 수 있었다.

향후 연구 과제로는 본 논문에서는 두 가지 형태의 질의만으로 성능 평가를 실시하였는데, 모바일 GIS에서는 이외에도 많은 형태의 질의가 있으므로 향후 모든 질의에 적용할 수 있고, 자치적으로 동작할 수 있는 능동적인 캐시 알고리즘의 연구가 필요하리라 생각된다. 또한, 모바일 GIS에서의 참조의 특성인 공간 근접성을 이용하여 단위 시간을 반경 r에 해당하는 페이지의 수×1.5로 일정하게 정의하였는데, 이 파라미터를 조정하여 능동적으로 동작할 수 있는 연구가 진행되어야 하겠다.

References

- [1] W. Abdelsalam, "Maintaining Quality of Service for Adaptive Mobile Map Clients," Master thesis of Mathematics in Computer Science in University of Waterloo, Canada, 2001.
- [2] M. Ali, F. Mahdi, and T. Mohammad, "Development of New Generation of Mobile GIS Systems using Web Services Technologies: A Case Study for Emergency Management," Journal of Applied Sciences,

- Vol.8, No.15, pp.2669-2677, 2008.
- [3] H. J. Bekker, I. Melve, and T. Verschuren, "Survey on Caching Requirements and Specifications for Prototype," DESIRE European Project Deliverable D 4.1.
- [4] Kahol, S. Khurana, S. K. S. Gupta, and P. K. Srimani, "A Strategy to Manage Cache Consistency in a Distributed Mobile Wireless Environment," IEEE Transactions on Parallel and Distributed System, Vol.12, No.7, pp.686-700, 2001.
- [5] Alok Madhukar and Reda Alhajj, "An Adaptive Energy Efficient Cache Invalidation Scheme for Mobile Databases," Proc. of the 2006 ACM Symp. on Applied Computing, 2006.
- [6] E. Poorazizi, A. A. Alesheikh, and S. Behzadi, "Developing a Mobile GIS for Field Geospatial Data Acquisition," Journal of Applied Sciences, Vol.8, No.18, pp.3279-3283, 2008.
- [7] Qun Ren, Margarer H. Dunham, "Using Semantic Caching to Manage Location Dependent Data in Mobile Computing," Proc. of the 6th Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking, pp.210-221, 2000.
- [8] S. Shekhar, Y. Huang, J. Djughash, and C. Zhou, "Location-based Services and Mobile Computing: Algorithms: Vector Map Compression: A Clustering Approach," Proc. of the 19th ACM Int'l Symp. on Advances in GIS, 2012.
- [9] Aymen A. Solyman, Mobile map - Technology for Application, <http://www.gisdevelopment.net/technology/mobilemapping/>, 2006.
- [10] T. Tanaka and T. Uchihira, "Application of Mobile GIS Equipped with GPS to Field Survey with Public Participation," AIJ Journal of Technology and Design, Vol.14, No.27, pp.199-204, 2008.
- [11] C. E. Wills and M. Mikhailov, "Towards a Better Understanding of Web Resources and Server Responses for Improved Caching," Computer Networks and ISDN Systems, Vol.31, No.11, pp.1231-1243, May 2007.
- [12] L. Yin, G. Cao, and Y. Cai, "Target-Driven Cache Replacement for Mobile Environments", Journal of Parallel and Distributed Computing, Vol.65, pp.583-594, 2005.
- [13] M. K. H. Yeung and Y. K. Kwok, "Wireless Cache Invalidation Schemes with Link Adaptation and Downlink Traffic," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.4, No.1, 2005.
- [14] Eung-nam Ko, "Cyber Collaboration Platform based on Web for Food Safety Service," Journal of Digital Contents Society Vol. 16 No. 1, pp.79-83, 2015.



문진용

1998년 : 건국대학교 대학원 (공학 석사)

2001년 : 수원대학교 대학원 (이학 박사)

2001년~현재 : 강동대학교 방송영상미디어과 부교수
관심분야 : 데이터베이스, 인터넷, 디지털 콘텐츠 등