

적응 정합 값 변환을 이용한 영상 모자이크 과정에서의 최적 Seam-Line 결정

論 文

54D-3-3

Optimal Seam-line Determination for the Image Mosaicking Using the Adaptive Cost Transform

全在春*·金炯奭†
(Jaechoon CHON · Hyongsuk KIM)

Abstract - A seam-line determination algorithm is proposed to determine image border-line in mosaicking using the transformation of gray value differences and dynamic programming. Since visually good border-line is the one along which pixel differences are as small as possible, it can be determined in association with an optimal path finding algorithm. A well-known effective optimal path finding algorithm is the Dynamic Programming (DP). Direct application of the dynamic programming to the seam-line determination causes the distance effect, in which seam-line is affected by its length as well as the gray value difference. In this paper, an adaptive cost transform algorithm with which the distance effect is suppressed is proposed in order to utilize the dynamic programming on the transformed pixel difference space. Also, a figure of merit which is the summation of fixed number of the biggest pixel difference on the seam-line (SFBPD) is suggested as an evaluation measure of seamlines. The performance of the proposed algorithm has been tested in both quantitatively and visually on various kinds of images.

Key Words : Dynamic Programming, Optimal Path, Seam-Line, Image Mosaicking

1. 서 론

영상 모자이크는 작은 크기의 영상을 조합 연결하여 넓은 범위의 크기로 영상화 시키는 기술로 영상 이용분야의 확대에 따라 그 필요성이 크게 증가하고 있다. 대용량 위성영상들의 연결[4], 비디오영상을 이용한 파노라믹 영상구성[5], 의료영상에서의 연결된 영상구성[6], 가상현실에서의 연속된 화면의 생성[7] 등은 이 분야의 중요한 응용 예이다. 이 응용들을 위하여 여러가지 모자이크 기술들이 연구되었는데 [1]-[3], 영상 간의 경계선에 대한 시각적 불연속성을 최소화하는 것이 공통된 연구과제이다. Nicilas는 카메라 스테레오코픽이 큰 영상들에 블렌딩 기법(평균, 메디안, 가중치 블렌딩)을 적용하는 방법을 개발하였으나[8], 촬영한 날짜, 촬영각도, 밝기 정도 등의 차이가 있는 위성영상 모자이크 경우와 스테레오스코픽 현상이 나타난 영상은 불연속한 화소(occlusion area)가 많이 포함되기 때문에 적합하지 않다. 이런 종류의 영상에서는 접선 영역의 그레이 값이나 색, texture등의 유사성이 큰 화소를 따라 형성된 seam-line을 적용하면 좋은 결과를 얻을 수 있다.

Kerscher[9]는 위성 사진을 연결하는 최적의 seam-line을 구하기 위해서 twin snakes라는 알고리즘을 개발하였다. 이 twin snake 알고리즘[10]은 일정한 간격을 두고 설치된 두

seam-line간에 상호 작용하는 인력을 인가면서 두 선들이 최적 상태로 천이하게 함으로써 두 선이 합쳐지는 선을 최적의 seam-line으로 결정하는 것이다. 그런데, 두 개의 seam-line이 하나의 seam-line이 되어가는 과정에서, 지역최소를 빠져나오지 못하는 경우가 허다하며, seam-line의 구성원인 control point가 가로축으로 움직이기 때문에, 곡선의 단순화되어 최적의 seam-line이 보장되지 않는다.

두 영상의 중첩 부분에 대한 화소값이나 칼라 및 텍스처등의 정합값을 [0,1]로 표현하고, 1에 대한 보수 값을 비용으로 간주하여 비용공간으로 표현하면, 유사성이 많은 화소들을 연결하는 seam-line을 구하는 문제는 비용공간에서의 최적 경로를 찾는 문제로 간주할 수 있다. 이 최적 경로 결정에는 동적계획법(Dynamic Programming)[11]이 매우 효과적 알고리즘으로 알려져있으므로 [12],[13] 최적 seamline 결정에 활용할 수 있으나, 동적계획법의 특성상 누적 비용이 최소화되는 관점에서만 최적 경로가 결정되므로, 최단 경로가 선호되어 seamline상에 큰 부정합 값을 갖는 화소를 포함하는 경우가 많다. 그런데, 영상의 경계에서의 시각적 민감도는 경로의 길이에는 무관하며, 높은 부정합 값을 갖는 화소들에서 크다는 특징이 있으므로 비용 공간에 동적계획법을 직접 적용할 경우, 얻어지는 seamline은 시각적으로 최적이지 아닐 수 있다.

본 논문에서는 seam-line 결정에 있어서 비용(부정합 값) 공간 상의 값을 적응적 변환함수를 이용하여 변환함으로써, 높은 부정합 값을 갖는 화소를 회피하는 가운데 최적의 seamline을 찾는 비용 변환 방법을 제안하였다. 또한 이 논문에서는 seam-line의 우열을 평가하는 척도로서 경로 상의 점들을 비용 값의 크기 순으로 정렬했을 때, 비용이 가장 큰 점부터 일정한 개수의 비용 값의 합산으로 결정하는 방법을

† 교신저자, 正會員 : 전북대학교 전자정보공학부 교수

E-mail : hskim@chonbuk.ac.kr

* 正會員 : 동경대 토목공학과 · 공박

接受日字 : 2004年 11月 18日

最終完了 : 2005年 1月 19日

제안하였다.

본 논문의 2절에서는 이 동적계획법의 원리를 기술하고, 3절에서는 적응적 비용 변환에 의한 최적 seamline 결정 알고리즘을 설명하였다. 또한 4절에서는 시각에 부합하는 seamline에 대한 평가 기준을 제시하였으며, 5절에서는 실험 영상들에 대하여 제안한 알고리즘의 성능을 동적계획법에 의한 방법과 비교하였다. 그리고, 6절은 결론이다.

2. 최적 Seamline 결정을 위한 Dynamic Programming

2.1. 동적 계획 법 (Dynamic Programming)

동적계획법은 임의의 두 점간의 최적의 경로를 찾는 매우 효과적인 방법으로서 각 노드에서의 지역적인 연산(local operation)을 통해서 전체적으로 최적의 경로(glocally optimal path)를 찾는 알고리즘이다. 그림 1과 같이 격자모양으로 배치된 비용공간을 가정하여 각 노드에 지역적 연산기능을 갖는 연산유닛 $c(i, j)$ 가 있다고 가정하고, 노드들을 경유할 때 필요한 비용을 링크 상에 d 로 표시하였다고 가정하자. 또한 그림 1에서 노드 $c(i, j)$ 의 인접 위치 $c(k, l)$ 로부터 목표 위치 점에 이르는 최소 비용을 D_{kl} 라고 할 때, 노드 $c(i, j)$ 로부터 목표 위치 G 에 이르는 데 소요되는 최소 비용 D_{ij} 는 식 (1)과 같이 $c(i, j)$ 로부터 인접한 위치 $c(k, l)$ 에 이르는 데 소요되는 비용 $d_{ij,kl}$ 과 그 위치로부터 목표 위치점에 이르는 최소 비용 D_{kl} 을 합한 값 중 최소 값을 취함으로써 계산된다.

$$D_{ij} = \min \{d_{ij,kl} + D_{kl}, (k,l) \in R(i,j)\} \quad (1)$$

여기서 \min 은 포함된 항 중에서 최소의 값을 선택하여 그 값 그대로 출력하는 함수이며 $R(i, j)$ 는 (i, j) 에 인접한 위치들의 집합이다.

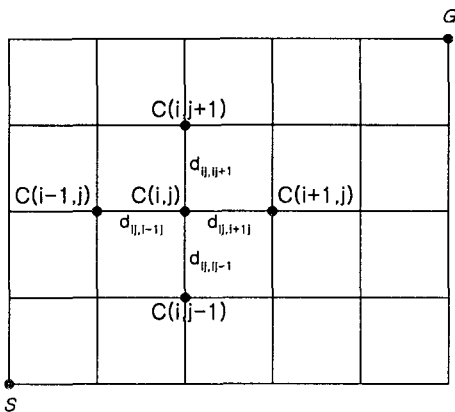


그림 1. 격자 모양의 비용 공간
Fig. 1 Grid shaped cost space

식 계산에 사용되는 인접 위치 (k, l) 의 최소 비용 D_{kl} 을 아직 모르는 값이라면, 이 값 계산을 위해서는 다시 그 점에 대한 인접 위치의 최소 비용들을 이용해서 같은 방식으로 계

산해야 하므로 D_{ij} 값이 단 번에 결정되어지지 않는다. 그러나, 다행하게도 목표 위치에 인접한 노드에서는 직접 D 값을 구할 수 있으며, 이 값을 이용하는 주변의 노드들도 D 값을 구할 수 있기 때문에, 이 노드에 연결된 노드들에 D 값이 전달되어 모든 노드들이 점차 정확한 비용 값을 계산하게 되는 원리이다. 이 계산은 인접한 노드의 계산결과를 이용하기 때문에 (1)과 같은 단순 계산을 할 수 있는 지역적인 연산을 통하여 전체적으로는 최적화된 경로를 구할 수 있다는 특징이 있다. 모든 노드들에서의 반복적 연산을 통해 최소 비용의 계산이 완료되면 최적 경로는 임의의 시작점에서 부터도 구할 수 있다. 즉, 임의의 노드 $c(i, j)$ 를 경로의 시작노드 혹은 기 결정된 최적 경로상의 한 노드라고 하면 $c(i, j)$ 에 인접한 임의의 노드 $c(k, l)$ 가 최적 경로상의 노드가 될 것인지의 여부는 $c(i, j)$ 에서의 비용값 D_{ij} 로부터 $d_{ij,kl}$ 를 감한 값이 $c(k, l)$ 에서의 비용값과 동일 한지의 여부에 따라 식 (2)와 같이 결정한다.

$$\begin{cases} c(k,l) \text{은 경로상의 노드} & ; \text{if } D_k = D_i - d_{i,k} \\ c(k,l) \text{은 경로 밖의 노드} & ; \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

2.2. 동적 계획법의 seamline 결정에 적용

앞에서 설명한 바와 같이 동적계획법은 최소의 비용을 갖는 경로를 구하는 효과적인 알고리즘이기 때문에 두 영상의 겹친 부분에서의 두 화소 간의 정합값의 보수인 상이도 값을 비용으로 간주하고 각 화소의 위치를 노드로 간주하면 정합값이 작은 화소들을 잇는 경로를 동적 계획법으로 계산할 수 있을 것이다. 즉, 두 개의 영상이 연결된다면 그림 2와 같이 여러 가지의 경우가 있을 수 있는데, 어느 경우나 두 영상의 가장자리가 만나는 두 점이 존재하게 되고 이들 두 점을 잇는 최소의 비용을 갖는 경로를 seam-line으로 설정할 수 있다.



그림 2. 동적계획법을 seamline 결정에 적용할 경우 시작점과 끝 점으로 사용되는 점들

Fig. 2. Starting and end points of dynamic programming for seamline determination

영상의 겹친 영역에서 각 화소 점에 대한 두 영상의 유사도는 식이 간단하고 마스크 N 내의 색상, texture차이 내용을 포함하는 상관정합(Zero-mean Normalized Cross Correlation: ZNCC)[15] (3)식을 사용 할 수 있다.

$$ZNCC(u,v) = \frac{\sum_{x,y} (f(x,y) - \bar{f}_{x,y}) \chi(t(x-u, y-v) - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{x,y} (f(x,y) - \bar{f}_{x,y})^2 \sum_{x,y} (t(x-u, y-v) - \bar{t})^2}} \quad (3)$$

여기서, I_r 는 reference gray 영상, I_a 는 add gray 영상, i 는 N 마스크 내에서의 gray 평균 값이다. (x,y) 는 영상에서 한 점이며, (dx, dy) 는 두 번째 영상이 첫번째에 영상에 대하여 이동된 절대 값이다. 따라서 동적 계획법에서 사용하는 비용은 (3)으로 계산된 유사도의 1에 대한 보수인 상이도를 (4)와 같이 구하여 사용한다. 화소 (i,j) 에서의 두 영상 간의 상이도를 $cost(i, j)$ 라고 하면,

$$cost(i, j) = 1 - ZSAD(i, j) \tag{4}$$

로 계산한다.

3. 적응적 비용 변환에 의한 최적 seamline결정

시각에 부합하는 seam-line이란 큰 정합 값을 갖는 화소들만을 지나게되는 경로를 의미한다. 이 문제에서 정합의 반대 개념인 부정합 값을 비용(cost)으로 간주하면, 두 점 간의 경로 중 가장 작은 비용이 소요되는 최적 경로 결정(optimal path planning) 문제로 간주될 수있다. 최적 경로 결정에는 동적계획법(dynamic programming)이 매우 효과적 알고리즘으로 알려져있으므로 [12]이를 이용하여 최적경로를 구할 수 있다. 그러나, 동적계획법의 특성상 누적비용이 적게되는 관점에서만 최적 경로가 결정되므로 지역적으로 큰 비용 값을 갖는 화소를 거치더라도 누적 비용이 적게되는 짧은 경로를 최적 경로로 제시하는 경향이 있다. 그러나, 시각에 부합하는 seam-line이란 경로의 길이는 길더라도 높은 부정합 값을 갖는 화소들을 가능하면 피하는 경로이므로, 동적계획법을 비용 공간에 직접 적용하여 seam-line을 결정하는 것은 적합하지 않다. 본 논문에서는 seamline 결정에 있어서 비용(부정합 값) 공간 상의 값을 적절히 변환함으로써 동적계획법을 적용하여 경로를 구했을 때, 경로길이에 무관하게 높은 비용을 갖는 화소를 피하는 선을 찾는 비용변환 방법을 제안하였다.

위에서 언급한 바와 같이 적은 비용이라고 하더라도 거리가 길어지면 누적 비용이 커지는 현상을 우리는 “거리 영향(distance effect)”이라고 하는데 이 거리 영향이 억제 되게하는 변환을 해야 부분적으로 큰 비용 값을 피하는 경로가 구해진다. 이를 위해서는 작은 크기의 비용 값은 더욱 축소시키고 큰 비용 값에 대해서는 더욱 강조하여 작은 크기의 비용이 누적되어 나타나는 거리 영향이 억제되게 한다. 즉, 비용 값이 일정한 값 이하보다 작으면, 경로의 길이가 길더라도 누적 비용 값이 증가하지 않게 한다는 것이다. 그런데, 무시할 수 있는 비용값의 기준은 대상 영상에 따라 다르므로 이 논문에서는 영상의 정합값 분포에 적응적으로 변화하여 자동으로 변환함수의 문턱치를 결정할 수 있는 방법을 제안하였다.

이를 위해서는 1) 영상에 대한 특성을 파악하여 최소 누적 비용함수를 구하고, 2) 파악된 특성을 기반으로 비용 변환함수를 구하며, 3) 비용 변환함수를 이용하여 비용을 변환한 후, 4) 변환된 비용공간에서 seamline을 구한다. 최소 누적 비용함수를 구하는 과정에서는 정합영역의 비용을 임의의 문턱치 t_{ref} 를 이용해서 2진의 비용 공간으로 변환하고 변환된

공간 상에서 최소 누적 비용 ϕ 를 동적계획법에 의해 계산한다. 이 때, 문턱치가 매우 높다면 대부분의 화소들에서의 비용이 0으로 변환되어 비용공간의 대부분이 비용 0으로 채워지기 때문에 최소 경로의 누적 비용이 0에 가까운 경로가 많다. 반대로, 변환 기준 값이 매우 낮다면, 대부분의 화소들에서의 비용 값이 최대값인 1로 할당될 것이므로, 이 변환 공간에서의 최적 경로 상의 최소 누적 비용은 크게될 것이다. 이와 같은 이진 비용 공간 상에서 비용 값 0을 갖는 화소로만 연결된 seam-line이 존재하는 한 최소 누적 비용이 0이며, 낮은 비용 0을 갖는 화소들만으로 구성된 경로가 완전히 사라질 때까지 누적 비용은 0을 계속 유지한다. 그런데, 문턱치가 더욱 낮아져서 0누적 비용의 경로를 더 이상 구할 수 없으면 이 때부터 누적 비용은 문턱치가 낮아짐에 따라 상당히 민감하게 증가하게 된다. 따라서, 문턱치를 큰 값에서부터 점차 감소시키면서 각 문턱치 값에 대한 2진 비용 공간에서의 누적 비용 값을 그래프로 그리면 그림 3(a)와 같이 문턱치 값이 큰 경우에는 경로 상의 누적 비용 값이 작으며, 문턱치가 작아질 경우 큰 최소 누적 비용이 되는 곡선이 된다. 이 곡선을 구하기 위해서 문턱치 값 t_{ref} 를 1로부터 작은 구간 ΔT 의 n 배 만큼 작은 값 $1-n \Delta T$ 에 대해서 그림 4에서의 이진 변환함수에 의해 변환하고 각 문턱치에 대한 최소 비용을 계산한다. 문턱치 t_{ref} 값이 1보다 $n\Delta T$ 만큼 작은 값에 대해 변환 공간에서 구한 최적 경로를 l_n 라하고, 이 경로 l_n 상의 k 번째 비용을 $cost_k$ 라고 하면 이 경로상의 누적 비용 값 ϕ_n 은 DP를 이용해서,

$$\phi_n = \sum \{cost_k, k \in l_n\} \tag{5}$$

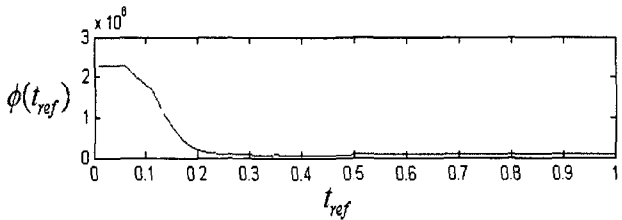
를 계산한다. 이 n 을 증가시키면서 얻은 다른 문턱치 t_{ref} 에 대해서 위의 계산을 반복하면 t_{ref} 에 대한 ϕ_n 의 함수 $\phi_n(t_{ref})$ 가 얻어진다. 이 과정을 문턱치를 변경한 경우에도 반복하여 최소 누적 비용을 구하여 이를 문턱치 함수로 $\phi_n(t_{ref})$ 나타낸다. 그림 3(b)는 이렇게 구한 최소누적 비용 함수의 예이다. 따라서 그림 3에서의 총 비용곡선은 각 문턱치에 대해서 비용이 문턱치 이상일 경우, 비용 값을 과장하여 1로 간주했을 때 구한 seam-line의 부적합성(badness)의 척도로 활용할 수 있다. 비용이란 부정적인 정도나 부적합의 정도를 의미하므로 x 축의 각 값에서는 이 값 이상의 모든 비용을 큰 비용이라고 가정했을 때의 부적합 함의 정도를 의미한다. 이를 위해서 $\phi_n(t_{ref})$ 를 정규화한 함수를 $\hat{\phi}_n(t_{ref})$ 라고 하여 부정합 함수로 활용한다. 이 곡선이 부적합한 정도를 나타낸다면, 1과의 보수 값을 갖는 그림 3(b)는 적합성 (goodness)을 표현한다. 즉 이 적합성 곡선은 비용의 변환 곡선으로 활용할 수 있는데 이 곡선을 비용 변환곡선 (cost transform function)라고 $\psi(t_{ref})$ 하며

$$\psi(t_{ref}) = 1 - \hat{\phi}_n(t_{ref}) \tag{6}$$

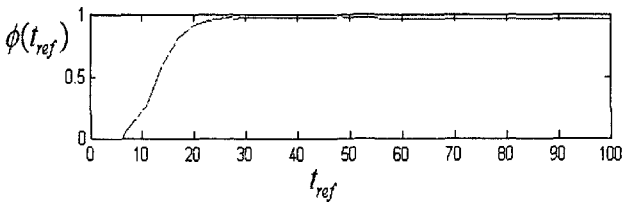
로 계산하여 구한다. 이 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

[ALGORITHM]

1. 비용의 최대값인 1 보다 작은 초기 $t_{ref} = 1 - \Delta T$ 를 설정
2. t_{ref} 에 대해서 그림 5에서의 이진 변환함수에 의해 이진 비용 공간으로 변환
각 이진 비용 공간에서 DP를 적용하여 누적 최소 비용인 ϕ_n 계산
 $t_{ref} = 1 - n\Delta T$ 로 결정되는 t_{ref} 에 대해서 n을 증가시켜 2 및 3을 반복하여 함수 $\phi_n(t_{ref})$ 를 구함
5. $\phi_n(t_{ref})$ 를 정규화하여 $\hat{\phi}_n(t_{ref})$ 를 구하고 1에 대한 보수를 취하여 비용변환 함수 $\psi(t_{ref})$ 를 구함비용 공간을 $\psi(t_{ref})$ 에 의해 변환
7. 변환된 공간에서 DP를 적용하여 최적의 seamline 계산



(a)



(b)

그림 3. 비용 변환 곡선을 구하는 예

- (a) 문턱치에 대한 최소 누적비용 함수
- (b) (a)를 이용하여 구성한 비용 변환 곡선

*Fig. 3. An example of cost mapping function composition

- (a) minimum sum of cost function about a threshold value
- (b) cost mapping function obtained using (a)

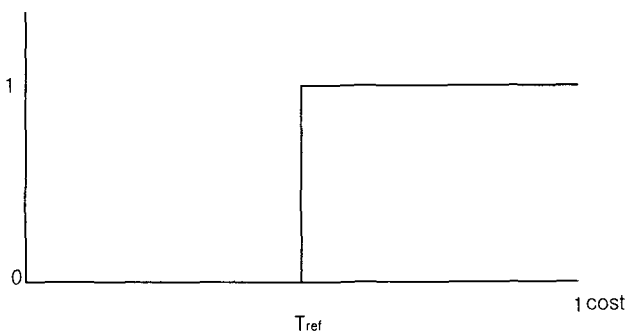


그림 4. 누적 비용을 구하기 위한 이진 변환함수

Fig. 4. Binary mapping function for sum of minimum cost

4. 시각에 부합하는 seamline 평가 기준

두 개의 영상이 조합되는 두 영상의 경계선을 결정하는데 있어서 시각적 거부감(visual discordance)은 경계선의 길이와는 무관하고 비용이 큰 곳에서 민감하게 반응하게 된다. 이 논문에서는 visual discordance 정도의 척도로서 경로 상의 점들을 비용 값의 크기 순으로 정렬했을 때, 비용이 가장 큰 점부터 일정한 개수의 비용 값의 합산으로 결정한다. 결정된 경로 상의 비용의 집합을 COST라 하고, 이를 내림차순으로 세우는 함수를 $SORT_{DEC}$ 라고 하고 $SORT_{DEC}$ 연산 결과로 구성되는 비용의 집합을 $cost'$ 라고 하면,

$$cost' = SORT_{DEC}\{COST\} \quad (7)$$

이다. Visual discordance의 척도 VD는 집합 $cost'$ 내에서 최대 값부터 일정한 갯수 N개를 취해 합한 값으로 정의한다. 즉,

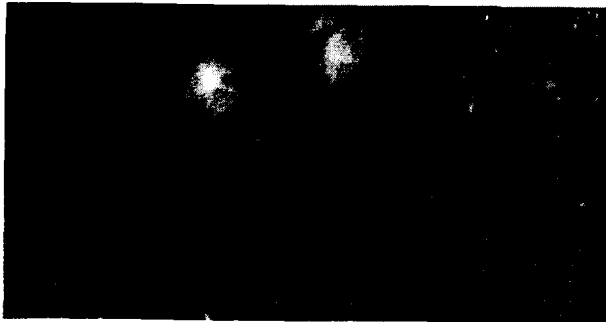
$$VD = \sum_{i=1}^N cost'_k \quad (8)$$

로 정의한다. 여기서 $cost'_k$ 는 집합 $cost'$ 의 요소들이다.

5. 실험 및 검토

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 여러 종류의 영상에 대해 영상 모자이크 실험을 수행하였으며 그 결과를 동적계획법에 의한 결과와 비교하였다. 그림 5는 촬영시간, 촬영각도, 날씨가 다른 고해상도 위성영상이다. 두 영상을 모자이크 하여 중첩된 부분에 대한 정합 값을 영상화한 영상은 그림 6(a)와 같다. 여기서 밝은 부분은 정합값이 작은 부분이고 어두운 부분은 정합값이 큰 부분이다. 그림 6(b)는 이 영상에 대해서 $t_{ref}=0.3$ 로 이진화 한 영상이며 어두운 부분은 정합 값이 큰 영역 즉 비용이 작은 영역에 해당하므로 최적 경로는 가능하면 이 경로를 통하여 연결하는 선이 된다. 이를 1에서부터 점점 감소 시키면 그림 6(b)의 밝은 부분이 점점 확장하게 되며 최소 비용 경로는 흰 부분을 피하는 선으로 결정이 된다. 그림 7(a)는 t_{ref} 의 값이 변할 때 얻어지는 최소 누적 비용을 t_{ref} 함수로 표현한 $\phi_n(t_{ref})$ 함수이다. 이 $\phi_n(t_{ref})$ 함수는 영상 마다의 정합 정도에 따라 다르게 나타나기 때문에 영상 의존적 특성을 갖는다. 이 함수를 이용해서 비용변환 함수 $\psi(t_{ref})$ 로 만들면 그림 7(b)와 같으며 이 변환 함수를 이용해서 변환한 비용 영상은 그림 8과 같다. 이 비용 영상을 그림 6(a)의 원래의 비용 영상과 비교하면 정합 값이 작은 값은 더욱 작아지고 큰 정합값은 더욱 커진 비용값을 가짐을 알 수 있다. 그림 9(a)는 원래의 비용 영상에 DP를 적용하여 구한 seam-line을 이용해서 모자이크 한 결과 영상이고 그림 9(b)는 제안한 비용변환방법에 의한 변환된 비용영상에 DP를 적용하여 최적 seam-line을 구하여 모자이크한 결과 영상이다. 이 결과를 본 논문에서 제안한

척도인 VD 값을 이용해서 비교한 값은 그림 10과 같다. 이 VD 값은 식 (8)과 같이 seam-line 상의 부정합 값을 큰 값부터 차례로 N=30개를 취하여 누적한 곡선이다. 영상에서 확인 할 수 있는 바와 같이 제안한 곡선의 최종 누적 값 VD는 비용 변환 전의 값을 사용한 경우에 비해서 훨씬 작은 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 그림 9의 (a)와 (b)의 두 영상에 대한 육안 비교에서도 제안한 알고리즘에 의한 모자이크 영상에서는 변환하지 않은 방법에 시각적 불연속 영역이 현저하게 줄어들었음을 알 수 있다.



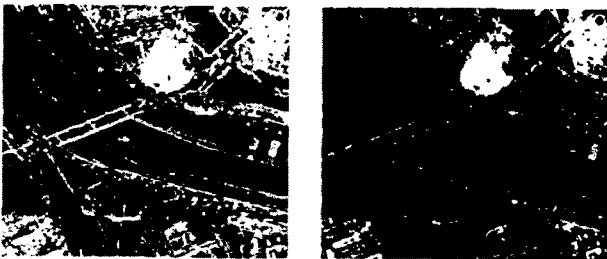
(a) 오른쪽 영상



(b) 왼쪽 영상

그림 5. 모자이크 이전의 좌우 두 영상 (위성 영상.)

Fig. 5. Two images for mosaicking (satellite images) (a) right image (b) left image



(a)

(b)

그림 6. 그림 5의 두영상에 대한 (a) 비용 영상 및 (b) 문턱치 값 $t_{ref}=0.3$ 를 이용하여 이진화 한 영상.

Fig. 6. (a) cost image and (b) binary image using the threshold $t_{ref}=0.3$.

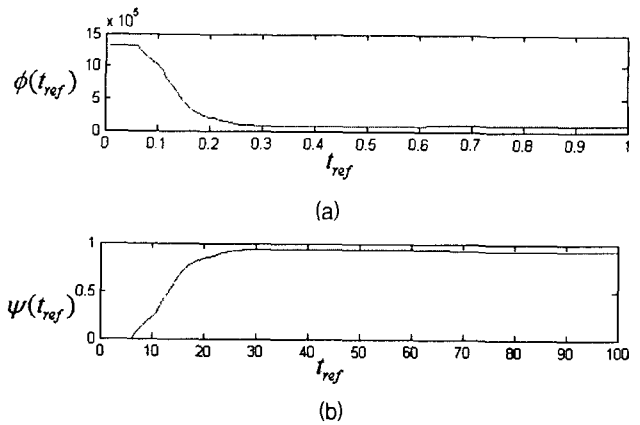


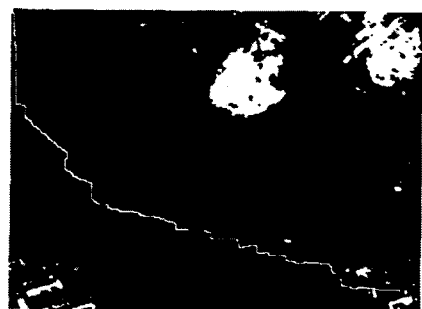
그림 7. $\phi(t_{ref})$ 및 $\psi(t_{ref})$ 함수 (위성영상)

Fig. 7. (a) $\phi(t_{ref})$ and (b) $\psi(t_{ref})$ functions (satellite image)

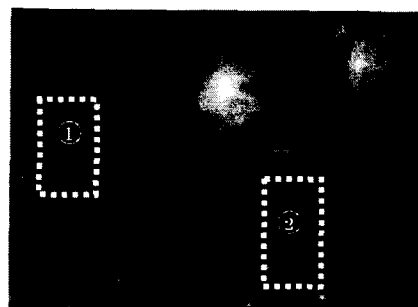


그림 8. 그림 7(b)의 $\psi(t_{ref})$ 함수를 이용하여 변환된 비용 영 (위성영상)

Fig. 8. Mapped cost image using the function of 7(b) (satellite image)



(a)



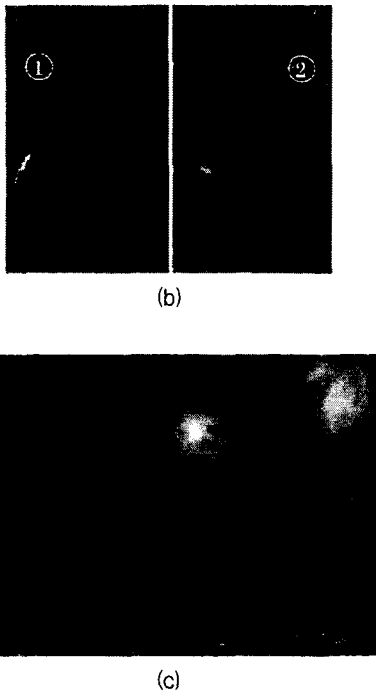


그림 9. 모자이크된 영상 (위성영상),
 (a) 동적계획법만 사용한 결과 (b) 제안한 비용 변환 알고리즘에 의한 모자이크한 결과 영상
 (c) 겹친 부분의 비용 영상에 표시한 seamlines (점선 : DP, 실선 : 제안한 알고리즘)

Fig. 9. Mosaicked images (satellite image)
 (a) with the dynamic programming only `seam points with miss alignment are shown in dotted squares (b) with the proposed algorithm (c) seamlines on the cost image in the overlapped area (dotted line : DP, solid line : proposed algorithm)

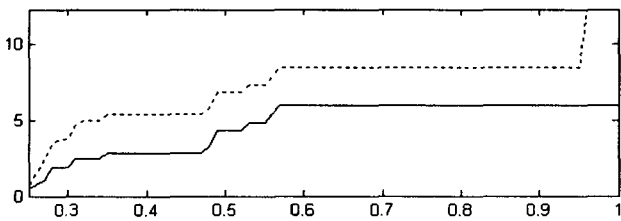


그림 10. (N=30) 인 경우의 VD 비교 (위성영상)
 점선: 동적계획법만 사용한 경우, 실선: 제안한 비용 변환 알고리즘에 의한 결과 영상에 대한 VD

Fig. 10. Comparison of VD curves (N=30) with the dynamic programming only (dotted line) and the proposed algorithm (solidline)

위성 영상과는 특성이 다른 그림 11과 같은 지상 촬영 영상의 모자이크를 위해서도 제안한 알고리즘의 성능을 시험하였다. 이 지상영상에 대해서 비용변환을 하지 않고 DP를 이용해서 구한 결과는 그림 12(a)와 같으며, 앞의 예에서와 동일한 과정을 거쳐 구한 제안한 알고리즘에 의한 모자이크 영

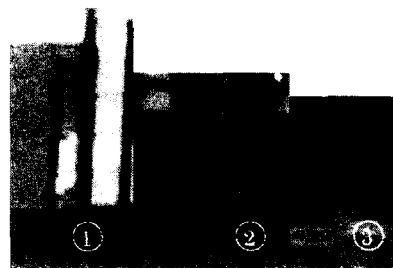
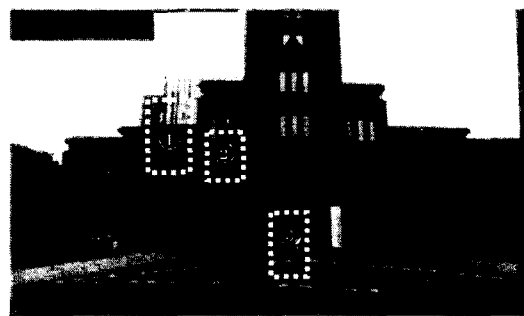
상은 그림 12(b)와 같다. DP 만을 이용할 경우, 그림 12 (a)에서와 같이 큰 불연속을 보이는 데 비하여 (점선으로 표시된 네모 안 참조) 제안한 알고리즘의 결과(그림 12(b))에서는 시각적인 불연속 부분이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 또, 그림13은 중첩지역의 비용영상에 위의 두 가지 방법에 의해 구한 seam-line들을 나타낸 것이며 그림 14는 이 결과에 대한 수치적 비교로서 비용 값의 최대 값으로부터 30개를 취해서 그 비용 합을 보여준다. 수치적 비교에서도 제안한 알고리즘의 비용값 합산 값이 낮은 것은 비용을 변환하지 않을 경우에 비해 시각적으로 부합하지 않은 화소들이 현저하게 줄었음을 보여준다.

표 1는 2가지의 다른 영상들에 대해서 제안한 알고리즘에 의한 경우와 비용변환하지 않은 경우에 대해서 seam-line의 길이를 비교한 결과인데 모든 경우에 대해서 제안한 알고리즘의 seam-line의 길이가 길다는 사실을 확인할 수 있다. 이것은 제안한 알고리즘에서는 길이에 의한 영향을 받지 않으면서, 큰 비용을 갖는 화소를 피해서 seam-line의 길이가 길게 결정되었음을 추정할 수 있다.

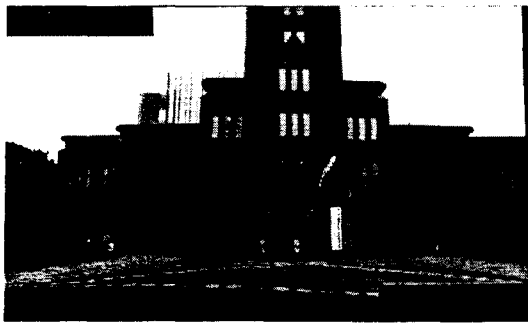


그림 11. 모자이크 이전의 좌우 두 영상 (지상 영상) (a) 왼쪽 영상 (b)오른 쪽 영상

Fig. 11. Two images for mosaicking (ground images) (a) left image (b) right image



(a)



(b)



(c)

그림 12. 모자이크된 영상 (지상영상),

- (a) 동적계획법만 사용한 결과, 점선 사각형 내에서 불연속이 나타남
- (b) 제안한 비용 변환 알고리즘에 의한 모자이크한 결과 영상
- (c) 겹친 부분의 비용 영상에 표시한 seamlines (점선: DP, 실선: 제안한 알고리즘)

Fig. 12. Mosaicked images (ground image)

- (a) with the dynamic programming only, seam points with miss alignment are shown in dotted squares
- (b) with the proposed algorithm
- (c) seamlines on the cost image in the overlapped area (dotted line: DP, solid line: proposed algorithm)

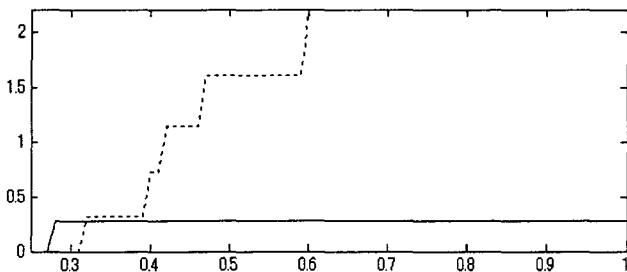


그림 13. (N=30) 인 경우의 VD 비교

- 점선: 동적계획법만 사용한 경우, 실선: 제안한 비용 변환 알고리즘에 의한 결과 영상에 대한 VD

Fig. 13. Comparison of VD curves (N=30) with the dynamic programming only (dotted line) and the proposed algorithm (solidline)

표 1. seamline의 길이 비교

Table 1. Comparison of the seam-line length

	DP	제안한 알고리즘
위성영상	1328	1332
지상 영상	706	840

6. 결 론

영상 모자이크 작업에서 두 영상의 경계선(seam-line)은 정합 값이 작은 화소들을 피해서 구성하는 것이 시각적 불연속성이 적다. 이 정합 값이 큰 화소들을 연결하는 seam-line을 구하는 과정은 최적 경로 결정 문제로 간주될 수 있으므로 최적 경로결정에 효과적인 동적계획법을 적용할 수 있다. 그러나, 동적계획법은 길이가 길고 화소 값이 작은 경로 보다는 길이가 짧고 비용이 큰 화소(정합 값이 작은 화소)를 선택할 수가 있다. 그러나, 인간의 시각적 특성은 seam-line의 길이와는 무관하고 비용이 큰 화소에 민감하게 거부감을 주게된다는 문제가 있다. 이 논문에서는 동적 계획법을 seam-line 결정에 적용하기 위해서는 길이가 길어질 때도 비용 값이 작은 값이라면 누적 비용값이 증가하지 않는 "거리효과" 억제 방법을 제안하였다. 이를 위해서 크기가 작은 비용은 축소하고 크기가 큰 비용은 확대하여 작은 비용 값은 무시되어 동적 계획법을 사용했을 때 seam-line의 길이에 무관하게 시각적으로 최적의 seam-line이 결정되게 하는 비용 변환기법을 제안하였다. 이 변환을 위해서 문턱치에 따른 최소 누적 비용값 곡선을 활용하여 비용 변환 함수로 사용하고 이를 이용한 변환 공간에서 DP를 사용하여 seam-line을 구하는 알고리즘을 제안하였다. 또, 결정된 seam-line의 우열을 가리기 위해서 일정한 개수의 상위 비용 값만 누적 제시하는 Visual Discordance(VD) 값을 척도로 사용하는 방안을 제시하였다.

제안한 seam-line 결정방법을 지상촬영 영상, 항공 사진 영상 및 인공위성 촬영 영상들 다양한 종류의 영상에 대해 적용 실험하였는데, 실험한 모든 영상에서 시각적이나 VD 척도에 의한 수치적 결과에서 확실히 좋은 성능을 보였다. 이 때 결정된 seam-line의 길이를 비교할 때, 제안한 알고리즘을 사용한 경우의 길이가 항상 긴 seam-line을 갖게 됨을 확인했는데 이는 길이영향이 억제된 seam-line이 구해졌음을 시사한다.

참 고 문 헌

- [1] S. Coorg, S. Teller, "Spherical mosaics with quaternions and dense correlation," In IJCV, vol. 37, No. 3, pp. 259-273, June 2000.
- [2] H.-Y. Shum, R. Szeliski, "Systems and experiment paper' construction of panoramic image mosaics with global and local alignment," In IJCV, vol. 36, No. 2, pp. 101-130, 2000.

- [3] Z. Zhu, A. R. Hanson, H. Schultz, E. M. Riseman, "Generalized parallel-perspective stereo mosaics from airborne video," IEEE Transactions on PAMI, 26(2), pp. 226-237, 2004.
- [4] <http://mitchnts1.cr.usgs.gov/projects/aerial.html>, USGS Hurricane Mitch Program Projects"
- [5] H. Sawhney and S. Ayer, "Compact representation of video through dominant and multiple motion estimation," IEEE Trans. PAMI, vol. 18, pp. 814-830, Aug. 1997.
- [6] J. S. Chou, J. Qian, Z. Wu, H. Schramm, "Automatic mosaic and display from a sequence of peripheral angiographic images," Proc. SPIE, vol. 3034, pp. 1077-1087, Medical Imaging, April 1997.
- [7] R. Szeliski, "Video mosaic for virtual enviroment," Comput. Graph. Applicat., pp. 22-30, Mar. 1996.
- [8] H. Nicilas, "New methods for dynamic mosaicking," IEEE Trans. on PAMI, vol. 10, no.8, pp. 1239-1251, AUG. 2001.
- [9] Martin Kerschner, "Seamline detection in colour orthoimage mosaicking by use of twin snakes," ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 56, pp. 53-64, 2001.
- [10] Kass, M., Witkin, A., Terzopoulos, D., Snakes: "Active contour models," Int. J. Comput. Vision 1, vol. 4, 321-331.
- [11] A. Amini, T. E. Weymouth, "Using dynamic programming for solving variational problems in vision," IEEE trans. PAMI, vol. 12, no. 9, sept. 1990.
- [12] Marie-Lise Duplaquet, "Bulding large image mosaics with invisible seam-lines," Proc. SPIE, vol. 3387, April 1998.
- [13] Satya Prakash Mallick, "Feature Based Image Mosaicing," www.cs.ucsd.edu/classes/fa02/cse252c/smalllick.pdf.

저 자 소 개



전 재 춘(全在春)

1971년 5월 1일생.
 1998년 전북대학교 정밀기계공학과 졸업.
 2000년 전북대학교 대학원 제어계측공학과 졸업.
 2002년 한국전자통신연구원 연구원.
 2002년~현재 동경대 토목공학과 (박사).
 TEL : 81-90-6173-7934
 Fax : 81-5841-7453
 E-mail : jjc7151@trip.t.u-tokyo.ac.jp



김 형 석(金炯奭)

1951년 1월 21일생.
 1980년 한양대학교 전자공학과 졸업.
 1982년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업.
 1992년 University of Missouri, Columbia, Dept. of Electrical and Computer Eng. 박사.
 1993. 09~현재 전북대학교 정교수
 Tel : 063-270-2477
 Fax : 063-270-2477
 E-mail : hskim@chonbuk.ac.kr