

동적계획법과 적응 비용 변환을 이용한 영상 모자이크의 seam-line 결정

전재춘^{1*} · 서용철¹ · 김형석²

Seam-line Determination in Image Mosaicking using Adaptive Cost Transform and Dynamic Programming

Jae-Choon CHON^{1*} · Yong-Cheol SUH¹ · Hyong-Suk KIM²

요 약

영상 모자이크 작업에서 두 영상 간의 경계선이 보이지 않는 최적의 seam-line을 구하기 위해 화소값 차이 변환과 동적계획법 이용 알고리즘을 제안하였다. 영상 간의 경계선은 두 영상의 화소값 차이가 적은 화소를 따라 형성되는 것이 시각적 부담이 적다. 이 화소들을 연결하는 것은 최적 경로를 찾는 알고리즘을 이용할 수 있다. 최적 경로 결정에 효과적인 동적계획법을 seam-line 결정에 직접 적용하면 화소값의 차이뿐만 아니라, seam-line의 길이에 따라 영향을 받는 거리영향문제가 발생한다. 이 논문에서는 적응적 변환함수를 사용하여 비용 변환을 수행하고, 변환된 비용공간 상에서 동적계획법을 적용하여 거리영향이 억제된 최적 seam-line을 구할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 또한 결정된 seam-line을 평가하기 위해 일정한 개수의 상위 화소값의 차이를 누적한 값(SFBPD)을 척도로 제시하였다. 제안한 seam-line 결정방법을 다양한 종류의 영상에 대해 적용 실험하였으며, 시각적 및 SBPD 값에 의한 수치적 결과를 제시하였다.

주요어: 영상 모자이크, 무흔적 접합 모자이크, 최적 경로, 동적계획법

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

2004년 4월 17일 접수 Received on April 17, 2004 / 2004년 6월 11일 심사완료 Accepted on June 11, 2004

1 日本 東京大學 土木工學科 Department of Civil Engineering, The University of Tokyo, Japan

2 전북대학교 전자정보공학부 Division of Electronics and Information Engineering, Chonbuk National University

* 연락저자 E-mail: jjc7151@trip.t.u-tokyo.ac.jp

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.

KEYWORDS: *Image Mosaicking, Seamless Mosaic, Optimal Path Finding, Dynamic Programming*

서 론

영상 모자이크 기법은 카메라로부터 얻어진 2차원적인 작은 영상들의 중첩 및 연결 조합을 통해 큰 범위의 대형 영상을 제작하는 기술로서, 3차원 영상 데이터 베이스 구축의 경우, 고 해상도 위성영상의 연결 및 확장을 통한 대용량 위성영상의 제작(USGS Hurricane Mitch Program Projects) 및 이를 통한 도시지역에 대한 지형공간정보 취득에 이용되고 있으며, 또한 스테레오 영상 모자이크로부터 다른 시점의 영상(view interpolation) 제작 및 현실적인 3차원 재구성(realistic 3D model), 비디오영상을 이용한 파노라마 영상 구현(Sawhney와 Ayer, 1997), 3차원의료영상 시스템(Chou 등, 1997) 및 가상현실에서의 연속된 화면의 생성(Szeliski, 1996) 등에 활발히 적용되고 있다. 특히 최근 GIS분야에서의 영상 모자이크 기법은 3차원 가시화를 통한 안내 및 도로 시설물 등의 효율적이고 체계적인 현황과악 및 유지관리를 가능하게 해 주고 있다.

영상 모자이크 제작에서 중요한 과정이 seamless 영상 모자이크이다. 두개의 영상을 하나의 영상으로 모자이크 할 경우, 두 영상간의 경계 부분에 있어서 화소 불일치(miss-alignment) 현상이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기존의 방법으로는 히스토그램 매칭(histogram matching), 영상 블렌딩(blending) 기법과 중첩영상에서 비슷한 화소로 이루어진 곡선(seam-line)을 따라서 영상 모자이크하는 기법이 있다. 히스토그램 매칭은 추가 영상의 히스토그램을 기준 영상의 히스토그램에 매칭하는 방법과 모자이크된 영상들간의 복사계의 정규화(radiometric normalization)하는 방법이 있다(Du

등, 2001). 복사계의 정규화 방법은 많은 위성 영상들을 모자이크할때, 영상들의 히스토그램 방정식의 상수를 변화시켜서 모자이크된 영상들이 전체적으로 색채를 비슷하게 만든 것이다. 영상 블렌딩 알고리즘에는 가중치 블렌딩(Nicilas, 2001), 알파 블렌딩(Uyttendaele 등, 2001)과 저주파 블렌딩(Adelson 등, 1984) 등이 있다. 블렌딩 알고리즘은 일반적으로 카메라 이동이 없는 팬/틸트 영상들을 파노라마 또는 반구형 영상 모자이크로 제작시에 응용되는 알고리즘이다. 하지만, 그림 1(a)와 같이 카메라의 이동(stereoscopic motion)에 의하여 얻어진 영상을 히스토그램 매칭방법과 블렌딩 기법방법을 이용한다면 영상 전체에 페색영역이 나타나기 때문에 영상 불일치를 해결 할 수 없다. 이러한 원인은 그림 1(a) 같이 영상이 투영될 기선(base-line)과 3차원 물체간의 불일치로부터 발생한다. 비록 한 화소를 많은 화소 또는 적은 화소로 와핑(warping)하는 정사 위성영상일 경우라도 3차원 물체의 원 화소를 복원 할 수 없기 때문에 이러한 문제는 정사 위성영상에서도 발생하고 있다. 영상을 투영하여 모자이크 영상을 만드는 기선의 자세는 기준영상 프레임의 자세와 동일하며, 기준영상 프레임과 기선의 거리는 기준영상과 추가영상에서 추출되고 정합된 특징점(feature point)의 평균값으로 결정된다. 일반적으로 모자이크 생성 방정식은 공선조건(collinearity conditions)을 기반으로한 상호표정(dependent relative orientation)을 이용하여 유도된다.

$$x = f \frac{X}{Z}, \quad y = f \frac{Y}{Z}$$

$$x' = f \frac{m_{11}(X - X_a) + m_{12}(Y - Y_a) + m_{13}(Z - Z_a)}{m_{31}(X - X_a) + m_{32}(Y - Y_a) + m_{33}(Z - Z_a)},$$

$$y' = f \frac{m_{21}(X - X_a) + m_{22}(Y - Y_a) + m_{23}(Z - Z_a)}{m_{31}(X - X_a) + m_{32}(Y - Y_a) + m_{33}(Z - Z_a)} \quad (1)$$

여기서, (x, y) 와 (x', y') 는 각각 기준영상과 추가영상에서의 특징점의 영상좌표이며, (X, Y, Z) 은 특징점에 해당하는 공간좌표(ground control point)이다. (X_a, Y_a, Z_a) 과 m 은 추가 영상의 외부표정이다. 식(1)에서 일반적으로 모자이크영상을 생성하는 식(2)는 특징점의 공간좌표 Z 를 상수로 가정하여 결정된다. 이 상수는 특징점들의 공간좌표 Z 의 평균값을 의미한다.

$$\begin{aligned} x' &= (ax + bx + c)/(dx + ey + 1), \\ y' &= (fx + gy + h)/(dx + ey + 1) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 a, b, c, d, e, f 는 최소자승법(classical least-square method)을 이용하여 계산할 수 있다.

(a) Relationship of base-plane and image frames

(b) Projection lines passing border-lines

FIGURE 1. Relationship of a base-plane and image frames

그림 1(b)에서 적색의 점선을 경계선(border-line A)으로 설정할 때, 기준 영상엔 백색선(line A)에 해당하는 3차원 물체가 투영되며, 추가 영상엔 갈색선(line B)에 해당하는 3차원 물체가 투영된다. 이러한 경계를 기준으로 하여 영상 모자이크를 생성하면 시각적으로 좋지 않은 결과를 얻을 수 있다. 하지만 적색선(border-line B)에 해당하는 3차원 물체는 기선의 높이와 비슷하기 때문에 동일한 3차원 물체가 동시에 기준 영상과 추가 영상으로 투영되므로, 적색선(border-line B)을 기반으로 영상 모자이크를 생성하면 시각적으로 좋은 결과를 얻을 수 있다. 이러한 경계선은 두 영상의 화소 값 차이가 적은 화소위치를 따라 형성되는 것이므로 최적 경로를 찾는 알고리즘(seam-line detection)을 적용할 수 있다.

FIGURE 2. Seam-lines by the dynamic programming and the proposed method

seam-line 찾는 알고리즘으로는 twin snakes 알고리즘과 동적계획법(dynamic programming)이 있다. twin snake 알고리즘은 일정한 간격을 두고 설치된 두 seam-line간에 상호 작용으로 서로 끌어당기면서 두 선들이 최적 상태로 천이하게 하여, 두 선이 합치되는 선을 최적의 seam-line으로 결정하는 것이다(Kerschner, 2001). 그런데, 두 개의 seam-line이 하나의 seam-line으로 되어가는 과정에서, snake의 내

부 에너지 비용공간에서 지역최소를 빠져나오지 못하거나 특히 글로벌 최대 및 지역 최대를 지나가지 못하는 경우가 많으며, 또한 seam-line의 구성원인 control point가 가로축만으로 움직이기 때문에, 곡선이 단순화되어 최적의 seam-line을 보장하지 못하는 단점이 있다. 이러한 주원인은 snake의 구성원인 control point 간의 거리와 snake 모양이 외부 에너지를 제어하는 상수에 대하여 매우 민감하기 때문이다. 또한 내부 에너지 비용공간에서 에너지가 글로벌 또는 지역 최대영역을 통과하기 위해 두 snake 간 서로 당기는 상수를 크게 하면 내부 에너지 비용공간에서 글로벌 최소를 지나쳐 버리기 때문이다. 이러한 문제가 야기되지 않는 방법은 동적계획법이다. 동적계획법은 비용공간에서 시작점(starting)과 도착점(goal)이 주어졌을 때, 최적의 경로를 찾아주는 효과적인 방법이다. 최적 seam-line 결정에 활용할 수 있으나, 동적계획법의 특성상 누적 비용이 최소화되는 관점에서만 최적 경로가 결정되므로, 영상간의 상관정합만을 비용으로 설정하게 되면, seam-line 상에 큰 부정합 값을 갖는 화소를 포함하는 경우가 많다(Efros와 Freeman, 2001). 그런데, 영상의 경계에서의 시각적 민감도는 경로의 길이에는 무관하지만, 높은 부정합 값을 갖는 화소들에서 커지는 특징이 있으므로 비용공간에 동적계획법을 직접 적용할 경우에 얻어지는 seam-line은 시각적으로 최적이지 아닐 수 있다. 예를 들면 그림 2에서 동적계획법을 적용한다면, 적색선으로 우회하기 보단 주황색선으로 seam-line이 얻어질 확률이 높다. 그 이유는 A, B를 지나는 비용누적 값이 적색선 같이 우회한 누적 값보다 작기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 seam-line 결정에 있어서 비용(부정합 값) 공간상의 값을 적응적 변환함수를 이용하여 변환함으로써, 적색선 같이 높은 부정합 값을 갖는 화소를 회피하면서 먼 거리로 우회 할 수 있는 seam-line을 찾는 비용 변환 방법을 제안한다. 또한 본 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 제안한다.

최적의 seam-line 결정을 위한 동적계획법

1. 동적계획법

동적계획법은 임의의 두 점간의 최적의 경로를 찾는 방법으로서 각 노드에서의 지역적인 연산(local operation)을 통해서 전체적으로 최적의 경로(globally optimal path)를 찾는 알고리즘이다. 이 알고리즘을 2차원인 영상에 적용방법은 다음과 같다. 현 위치 노드 (i, j) 의 인접 노드 (k, l) 로부터 목표 위치점에 이르는 최소 비용 $D(k, l)$ 라고 할 때, 최소 비용 $D(i, j)$ 는 다음 식과 같이 현 위치 노드 (i, j) 로부터 인접한 노드에 이르는 데 소요되는 비용 $d_{i, k}$ 과 그 위치로부터 목표 위치점에 이르는 최소 비용 $D(k, l)$ 을 합한 값 중 최소 값을 취함으로써 계산된다 (Kim 등, 2002).

$$D_{ij} = \min \{ d_{i, k} + D_k, (k, l) \in R(i, j) \} \quad (3)$$

여기서, $R(i, j)$ 는 (i, j) 에 인접한 위치들의 집합이다.

2. 동적계획법의 seam-line 결정에 적용

두 영상의 겹친 부분에서 두 화소간의 정합 값의 보수인 상이도 값을 비용공간으로 간주하고, 각 화소의 위치를 노드로 간주하면 정합 값이 작은 화소들을 잇는 경로를 동적계획법으로 계산할 수 있다. 즉, 두 개의 영상이 연결된다면 그림 3과 같이 두 영상의 가장자리가 만나면 두 점이 존재하게 되고 이 두 점을 잇는 최소의 비용을 갖는 경로를 seam-line으로 설정할 수 있다.

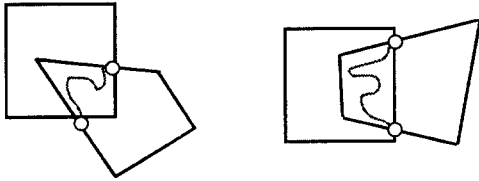


FIGURE 3. Starting and end points of dynamic programming for seam-line determination.

영상의 겹친 영역에서 각 화소 점에 대한 두 영상의 유사도는 마스크(mask) N 내의 색상, 텍스처(texture) 차이 내용을 포함하는 상관정합 Normalized Cross Correlation(NCC)을 사용하였다.

$$NCC(u, v) =$$

$$\frac{\sum_{x,y} (f(x,y) - \bar{f}_{u,v})(t(x-u, y-v) - \bar{t})}{\sum_{x,y} (f(x,y) - \bar{f}_{u,v})^2 \sum_{x,y} (t(x-u, y-v) - \bar{t})^2} \quad (4)$$

여기서 $\bar{f}_{u,v}$ 는 기준 영상에서 마스크내의 평균 화소, \bar{t} 는 추가영상에서 마스크내의 평균 화소이다. NCC는 -1.0에서 1.0으로 출력되는 함수이기 때문에, 동적계획법에 사용될 비용함수 $Cost(i, j)$ 로 사용하기 위해서 다음과 같이 변환하였다.

$$Cost(i, j) = 1.0 - NCC(i, j) / 2.0 \quad (5)$$

비용함수는 겹친 영역에서 비슷한 텍스처일 경우 0.0 가까운 값을 출력하고, 상이 할 경우 0.5에 가까운 값으로 출력하며, 화소 반전의 유사성이 클수록 1.0을 출력한다.

적응적 비용 변환에 의한 최적 seam-line 결정

동적계획법은 비용공간에서 시작점(starting)

과 도착점(goal)이 주어졌을 때, 최적의 경로를 찾아주는 효과적인 방법이다. 최적 seam-line 결정에 활용할 수 있으나, 동적계획법의 특성상 누적 비용이 최소화되는 관점에서만 최적 경로가 결정되므로, 최단 경로가 선호되어 seam-line 상에 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 seam-line은 시각적으로 최적일 아닐 수 있다. 본 논문에서는 seam-line 결정에 있어서 비용(부정합 값) 공간상의 값을 적절히 변환함으로써 동적계획법을 적용하여 경로를 구했을 때, 경로의 길이와 무관하며 높은 비용을 갖는 화소를 피하는 선을 찾는 비용 변환 방법을 제안하였다. 위에서 언급한 바와 같이 적은 비용이라고 하더라도 거리가 길어지면 누적 비용이 커지는 '거리 영향(distance effect)'이 있으므로, 이 거리 영향이 억제되는 변환을 해야만 부분적으로 큰 비용 값의 화소를 피하는 경로를 구할 수 있다. 이를 위해서는 작은 크기의 비용 값은 더욱 축소시키고 큰 비용 값에 대해서는 더욱 강조함으로써 작은 크기의 비용이 누적되어 나타나는 거리 영향을 억제하게 한다. 즉, 비용 값이 일정한 값 이하보다 작으면, 경로의 길이가 길더라도 누적 비용 값이 증가하지 않게 된다. 그런데, 무시 할 수 있는 비용 값의 기준은 대상 영상에 따라 다르므로 본 논문에서는 영상의 정합 값 분포에 적응적으로 변화하여 자동으로 변환 함수의 문턱치(threshold)를 결정할 수 있는 방법을 제안하였다.

최소 누적 비용함수를 구하는 과정에서는 정합영역의 비용을 임의의 문턱치 t_{ref} 를 이용해서 2 진의 비용 공간으로 변환하고 변환된 공간상에서 최소 누적 비용 \emptyset 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 2진 비용 공간에서 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 0의 누적 비용의 경로를 더 이상 구할 수 없으면 이 때부터 누적 비용은 문턱치가 낮아짐에 따라 상당히 민감하게 증가하게 된다. 따라서, 문턱치를 큰 값 1.0에서부터 점차 감소시키면서 각 문턱치 값에 대한 2진 비용 공간에서의 누적 비용 값을 그래프로 표현하면 그림 4(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 배만큼 작은 값 $1-n\Delta T$ 에 대해서 그림 4에서의 이진변환함수에 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 라 하고, 이 경로 l_n 상의 k 번째 비용을 $cost_k$ 라고 하면 이 경로상의 누적 비용 값 ϕ_n 은 동적계획법을 이용해서,

$$\phi_n = \sum \{cost_k, k \in l_n\} \quad (6)$$

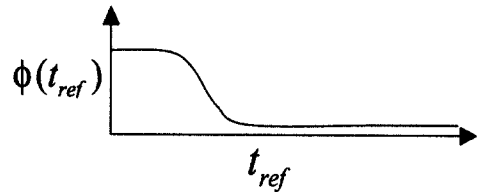
를 계산한다. 이 n 을 증가시키면서 얻은 다른 문턱치 t_{ref} 에 대해서 위의 계산을 반복하면 t_{ref} 에 대한 ϕ_n 의 함수 $\phi_n(t_{ref})$ 가 그림 4(a)와 같이 얻어진다. 그림 4에서의 총 비용곡선은 각 문턱치에 대해서 비용이 문턱치 이상일 경우, 비용 값을 과장하여 1로 간주했을 때 구한 seam-line의 부적합성(badness)의 척도로 활용할 수 있다. 비용이란 부정적인 정도나 부적합의 정도를 의미하므로 x축의 각 값에서는 이

값 이상의 모든 비용을 큰 비용이라고 가정했을 때의 부적합함의 정도를 의미한다. 이를 위해서 $\phi_n(t_{ref})$ 를 정규화한 함수를

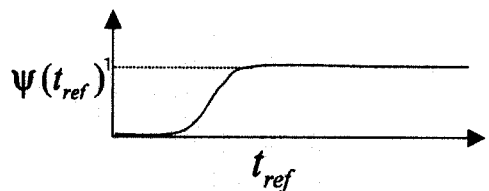
$\overline{\phi}_n(t_{ref}) = \phi_n(t_{ref}) / \max \{ \phi_n(t_{ref}) \}$ 라고 하여 부정합 함수로 활용한다. 이 곡선이 부적합한 정도를 나타낸다면, 1과의 보수 값을 갖는 그림 4(b)는 적합성(goodness)을 표현한다. 즉 이 적합성 곡선은 비용의 변환 곡선으로 활용할 수 있는데 이 곡선을 비용 변환곡선(cost transform function) $\psi(t_{ref})$ 라고 하며

$$\psi(t_{ref}) = \overline{\phi}_n(t_{ref}) \quad (7)$$

로 계산하여 구한다.



(a) Minimum sum of cost function $\phi_n(t_{ref})$ about a threshold value



(b) Cost mapping function obtained using (a)

FIGURE 4. An example of cost mapping function composition

최적의 seam-line은 비용함수 식 (5)을 그림 4(b)의 곡선에 매칭한 후 계산된 비용공간에서 동적계획법을 적용하여 얻어진다.

시각에 부합하는 seam-line 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. 본 논문에서는 거부감 정도의 척도로서 경로 상의 점들을 비용 값의 크기 순으로 정렬했을 때, 비용이 가장 큰 점부터 일정한 개수의 비용 값의 집합으로 결정한다. 결정된 경로 상의 비용의 집합을 $COST$ 라 하고, 이를 내림차순으로 세우는 함수를 $SORT_{DEC}$ 라고 하고 $SORT_{DEC}$ 연산 결과로 구성되는 비용의 집합을 $cost'$ 라 하면,

$$cost' = SORT_{DEC}(COST) \quad (8)$$

이다. 거부감의 척도 VD 는 집합 $cost'$ 내에서 최대 값부터 일정한 개수 N 개를 취해 합한 값으로 정의한다. 즉,

$$VD = \sum_{k=1}^N cost'_k \quad (9)$$

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

실험 및 고찰

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 여러 종류의 영상에 대해 영상 모자이크 실험을 수행하였으며 그 결과를 동적계획법과 twin snakes와 비교하였다. 그림 5는 촬영시간, 촬영각도, 날씨가 다른 고해상도 정사 위성영상이다. 그림 6(a)는 두 영상의 중첩된 부분을 식(5)에 대입하여 얻은 결과이다. 여기서 밝은 부분은 정합값이 작은 부분이며, 어두운 부분은 정합값이 큰 부분이다. 그림 6(b)는 그림 6(a)에 대해서 $t_{ref}=0.3$ 로 이진화 한 영상이며, 어두운 부분은 비용이 작은 영역에 해당하므로 최적 경로는 가능하면 이 영역을 지나는 선이 된다. 이 t_{ref} 를 1에서부터 점점 감소시키면 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 $\Phi(t_{ref})$ 함수이다. 이 $\Phi(t_{ref})$ 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

(a) Left image

(b) Right image

FIGURE 5. Two images for mosaicking (ortho-satellite images)

FIGURE 6. Cost image (a) and Binary image (b) using the threshold $t_{ref}=0.3$

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 정합 값은 더욱 커진 비용 값을 가짐을 알 수 있다. 직접적으로 동적계획법을 적용한 결과와 제안한 방법에 의한 seam-line은 그림 9(a)와 (b)이다. 그림 9(c)는 동적계획법과 제안한 방법에 의해 구해진 seam-line을 비용공간에 나타낸 것이다. 그림 9(d)는 twin snakes 알고리즘을 적용한 결과이다. 그림의 양쪽 부분에 두 직선은 twin snakes의 구성원인 control points의 초기 값이며, 중앙선 두 곡선은 수차례 반복(iteration) 후의 결과이다. 그림 9에서 알 수 있듯이 접친 영역에서 동적계획법은 두 영상

간의 화소차가 심한 다리부분(점선 네모)과 주변 영상차이가 심한 강변부분(점선 네모)을 통과하여 영상 불일치(miss-alignment)를 나타내고 있다. twin snakes 알고리즘에 의한 결과는 비용공간에서 지역최대를 통과하지 못하여 하나의 seam-line을 만들지 못하였다. 이 점을 본다면 twin-snakes 알고리즘은 접친 영역의 영상들이 매우 비슷해야만 비로소 하나의 seam-line을 만들 수 있는 단점을 가지고 있다. 반면, 본 논문에서 제안된 방법에 의한 결과는 두 영상간의 화소차가 심한 부분을 회피하며 먼거리로 우회하므로 영상 불일치(miss-alignment)가 나타나지 않고 있어 불연속면이 현저하게 줄어들었음을 알 수 있다. 제안한 알고리즘과 동적계획

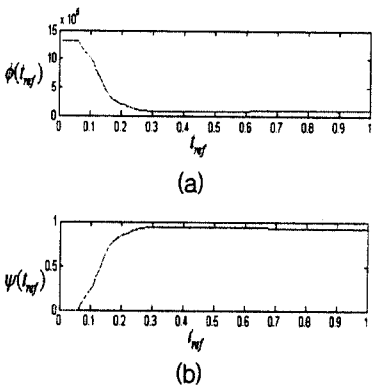


FIGURE 7. $\Phi(t_{ref})$ (a) and $\Psi(t_{ref})$ (b) functions (ortho-satellite image)

FIGURE 8. Mapped cost image using the function $\Psi(t_{ref})$ of 7(b) (ortho-satellite image)

FIGURE 9. Mosaicked images (ortho-satellite image) 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), (d) Seam-lines by twin snakes algorithm

법의 결과를 본 논문에서 제안한 척도인 VD값을 이용해서 비교한 값은 그림 10과 같다.

이 VD 값은 식 (9)과 같이 seam-line 상의 부정합 값을 큰 값부터 차례로 N=30개를 취하여 누적한 곡선이다. 결과영상에서 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.

정사 위성영상과는 특성이 다른 그림 11과 같은 지상 영상 모자이크를 위해 제안한 알고리즘의 성능을 시험하였다

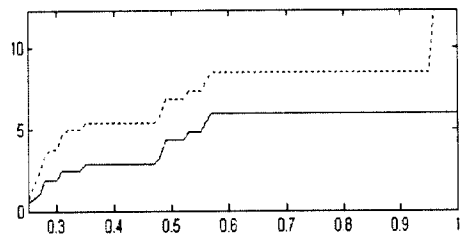


FIGURE 10. Comparison of VD curves (N=30) with the dynamic programming only(dotted line) and the proposed algorithm(solid line)

(a) Left image (b) Right image
FIGURE 11. Two images for mosaicking(close-range images)

FIGURE 12. Mosaicked images (close-range image)

(a) Application of the dynamic programming only, seam points with miss alignment are shown in dotted squares, (b) With the proposed algorithm, (c) Seam-lines on the cost image in the overlapped area (dotted line: DP, solid line: proposed algorithm), (d) Seam-lines by twin snakes algorithm

정사 위성영상과는 특성이 다른 그림 11과 같은 지상 영상 모자이크를 위해 제안한 알고리즘의 성능을 시험하였다

이 지상영상에 대해서 비용변환을 하지 않고 동적계획법을 이용해서 구한 결과는 그림 12(a)와 같으며, 결과영상에서 표시된 네모의 ①~③ 결과 영상의 오른쪽에 원 영상으로 나타내고 있다. 그림 12(d)는 twin snakes 알고리즘을 적용한 결과이다. 그림의 양쪽 부분에 두 직선은 twin snakes의 구성원인 control points의 초기 값이며, 중앙선 두 곡선은 수차례 반복 (iteration) 후의 결과이다. 위성영상 모자이크 결과와 비슷하게 동적계획법은 화소 불일치 지역을 통과하는 짧은 경로를 선택하였으며, twin snakes 알고리즘은 비용공간에서 지역 최대영역을 통과하지 못하므로 하나의 seam-line을 만들지 못하고 있다. 이런 점에서 twin-snakes 알고리즘은 일반 사진영상에 적용하기는 힘들다는 것을 알 수 있다. 반면 제안한 방법에 의한 결과는 그림 12(b)와 같이 두 영상간의 화소차가 심한 부분을 회피하며 먼 거리로 우회하여 영상 불일치(miss-alignment)가 나타나지 않고 있으며 불연속면이 동적계획법의 결과보다 현저하게 줄어듦을 알 수 있다.

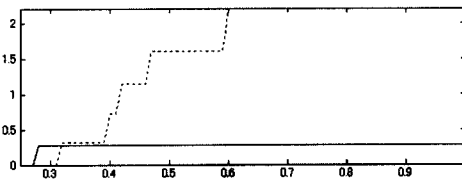


FIGURE 13. Comparison of VD curves (N=30) with the dynamic programming only(dotted line) and the proposed algorithm(solid line)

그림 13은 이 결과에 대한 수치적 비교로서 비용 값의 최대 값으로부터 30개를 취해서 그 비용합을 보여준다. 수치적 비교에서도 제안한 알고리즘의 비용값 합산 값이 낮은 것은 비용을 변환하지 않을 경우에 비해 시각적으로 부합하지 않은 화소들이 현저하게 줄어듦을 보여주고 있다.

TABLE 1. Comparison of the seam-line length

	DP	The proposed method
Orth-satellite images	1328	1332
Close-range images	706	840

표 1은 2가지의 다른 영상들에 대해서 제안한 알고리즘에 의한 경우와 비용 변환없이 직접적으로 동적계획법을 적용한 경우에 대해서 seam-line의 길이를 비교한 결과이며, 실험 대상의 두 영상에서 제안한 알고리즘의 seam-line의 길이가 길다는 사실을 확인할 수 있다. 본 결과는, 본 논문에서 제안한 알고리즘이 길이에 의한 영향을 받지 않으면서도, 큰 비용을 갖는 화소를 피해 seam-line의 길이가 길게 결정되었음을 알게 해 주고있다.

(b) Seam-line by proposed method

FIGURE 14. Comparison of style of seam-lines by twin snakes and proposed algorithms

본 논문에서 실험 대상인 두 영상에선 twin snakes 알고리즘이 하나의 seam-line을 생성하지 못하였기 때문에, Kerschmer(2001)가 실험한 영상을 기반으로 twin snakes에 의해 계산된 seam-line의 모양과 본 논문에서 제안한 알고리즘에 의해 계산된 seam-line의 모양을 비교분석을 수행하였다.

그림 14(a)는 <http://www.ipf.tuwien.ac.at/mk/mosaic/mosaicking.htm>의 웹사이트에 등록된 2장의 영상을 twin snakes에 의해 구한 모자이크 영상이며, 그림 14(b)는 동일한 2장의 영상을 본 논문에서 제안한 방법으로 seam-line을 구하여 모자이크를 수행한 결과이다. 그림 14에서 보듯이, twin-snakes에 의한 seam-line의 곡선 모양이, 제안된 알고리즘에 의한 seam-line 보다 매운 단조로운 것을 알 수 있다. 서론에서 언급한 바와 같이, 이러한 문제의 주요 원인은 snake의 구성원인 control point가 움직이는 방향이 오직 가로축으로 고정되어 있기 때문이다. 또한 snake 곡선은 외부 에너지 제어상수에 민감하여 snake의 구성원인 control point간의 거리와 곡선모양이 제안되기 때문이다. 이러한 이유로 twin-snakes에 의한 seam-line은 시각적으로 최적이라고 말하기 어렵다. 반면에 제안된 알고리즘에 의한 seam-line의 모양은 그림 14의 점선의 원내에서와 같이 먼 거리로 우회할 수 있기 때문에 글로벌 최소 부분을 통과할 수 있는 seam-line이 될 가능성이 높다.

결론

영상 모자이크 작업에서 두 영상의 경계선(seam-line)은 정합 값이 작은 화소들을 피해서 구성되는 것이 시각적 불연속성이 적다. 이 정합 값이 큰 화소들을 연결하는 seam-line을 구하는 과정은 최적 경로 결정 문제로 간주될 수 있으므로, 최적 경로결정에 효과적인 동적 계획법을 적용할 수 있다. 그러나, 동적 계획법은 길이가 길고 화소 값이 작은 경로보다는 길이가

짧고 비용이 큰 화소(정합값이 작은 화소)를 선택할 수가 있다. 그러나, 인간의 시각적 특성은 seam-line의 길이와는 무관하고 비용이 큰 화소에 민감하게 거부감을 주게된다는 문제가 있다. 본 논문은 동적 계획법을 seam-line 결정에 적용하기 위해서는 길이가 길어질 때도 비용 값이 작으며, 누적 비용값이 증가하지 않는 거리효과 억제 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 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 변환하는 것이다. 비용 변환을 위해서 문턱치에 따른 최소 누적 비용값 곡선을 활용하여 비용 변환 함수로 사용하고 이를 이용한 변환 공간에서 동적계획법을 사용하여 seam-line을 구하는 것이다. 또한, 정된 seam-line의 우열을 가리기 위해서 일정한 개수의 상위 비용 값만 누적 제시하는 visual discordance(VD) 값을 척도로 사용하는 방안을 제안하였다.

제안한 seam-line 결정방법을 지상촬영 영상, 인공위성 촬영영상들 다양한 종류의 영상에 대해 적용 실험하였으며, 실험한 대상 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 된 것은 길이영향이 억제된 seam-line이 구해졌음을 알 수 있다. **키워드**

참고문헌

- Adelson, E.H., C.H. Anderson, J.R. Bergen and P.J. Burt. 1984. Pyramid method in image processing. *RCA Engineer* 29(6):33-41.
- Chou, J.S., J. Qian, Z. Wu and H. Schramm. 1997. Automatic mosaic and display from a sequence of peripheral angiographic

- images. Proceedings of SPIE Medical Imaging 3034:1077-1087.
- Du, Y., J. Cihlar, J. Beaubien and R. Latifovic. 2001. Radiometric normalization, compositing and quality control for satellite high resolution image mosaics over large areas. IEEE Transactions on GARS 39(3):623-634.
- Efros, A. and W. Freeman. 2001. Image quilting for texture synthesis and transfer. Proceedings of SIGGRAPH 2001. pp.341-346.
- Kerschner, M. 2001. Seamline detection in colour orthoimage mosaicking by use of twin snakes. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56: 53-64.
- Kim, H., S. Hong, T. Oh and J. Lee. 2002. High speed road boundary detection with CNN-based dynamic programming. Lecture Notes in Computer Science 2532:806-813.
- Nicilas, H. 2001. New methods for dynamic mosaicking. IEEE Transactions on PAMI 10(8): 1239-1251.
- Sawhney, H. and S. Ayer. 1997. Compact representation of video through dominant and multiple motion estimation, IEEE Transactions on PAMI 18: 814-830.
- Szeliski, R. 1996. Video mosaic for virtual environment. Computer Graphics Application 16(3):22-30.
- USGS Hurricane Mitch Program Projects. <http://mitchnts1.cr.usgs.gov/projects/aerial.html>.
- Uyttendaele, M., A. Eden and R. Szeliski. 2001. Eliminating ghosting and exposure artifacts in image mosaics. CVPR2001. pp. 1144-1154. ~~XXXX~~