

위치 보정 및 강체 정합을 통한 전립선 병리 영상의 자동 스티칭

이지언[○] 정주립 홍헬렌

서울여자대학교 미디어학부

ji-unlee@swu.ac.kr jjulip@swu.ac.kr hlhong@swu.ac.kr

Automatic Stitching of the Prostate in Pathology Image Using Position Correction and Rigid Registration

Ji Un Lee[○] Julip Jung Helen Hong

Division of Multimedia Engineering, Seoul Women's University

요 약

본 논문에서는 조각 병리 영상을 강체 정합을 통해 하나의 영상으로 자동 스티칭하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 영상의 위치 초기화, 위치 보정, 강체 정합의 세 단계로 이루어진다. 첫째, 영상의 위치 초기화 단계에서는 순서 없이 흩어진 부분 영상을 템플릿 매칭 기법을 사용한 영상 내 문자 인식을 통해 위치를 초기화한다. 둘째, 강체 정합의 정확성을 높이기 위해 코너점을 이용해 부분 영상의 위치를 보정한다. 셋째, 조각 영상 간 거리를 최소화하는 강체 정합을 수행한다. 실험 결과, 부분 영상 간 간격이 최소화되어 하나의 영상으로 스티칭되는 것을 확인하였고, 최적화 반복 횟수와 변환 벡터에 따른 정확성, 견고성 평가를 통해 거리 차의 제곱 합이 최소화되어 수렴됨을 알 수 있었다. 본 논문의 제안 방법은 조각 영상을 하나의 영상으로 스티칭함으로써 병리 조직의 전체적인 구조 파악과 이를 이용한 전립선암 확산에 사용될 수 있다.

1. 서 론

전립선절제술을 받은 전립선암 환자의 확진을 위해 사용되는 병리 영상은 암의 위치를 알 수 있는 기준이 되는 영상이다. 그러나 병리 영상은 현미경을 통한 조직검사를 위해 하나의 조직이 여러 개의 조직으로 잘려진 후 고해상도의 부분 영상으로 획득되기 때문에 전체 조직 구조에 대한 파악이 어렵다. 따라서 전립선 전체 조직 구조에서의 암의 정확한 위치를 파악하고 확진 하기 위해서 여러 조각의 부분 영상을 하나의 영상으로 스티칭하는 기능이 필요하다.

병리 영상이나 현미경 영상의 스티칭에 대한 기존 연구를 살펴보면 다음과 같다. Vlandan Rankov 등은 병리영상을 상호상관계수 최적화를 통해 강체 정합하고 블렌딩 함수를 이용해 영상 사이의 밝기값 불일치를 제거하는 방법을 제안하였다[1]. Changming Sun 등은 병리영상의 중첩 부분에서 해리스 코너 검출과 상호상관계수를 통해 검출한 대응점을 이용해 정합하고 추가적으로 밝기값의 불일치로 생기는 경계선을 방사선 보정을 사용하여 제거하는 방법을 제안하였다[2].

본 논문에서는 조각 병리영상에 대한 위치보정과

이를 하나의 영상으로 강체 정합하는 방법을 이용한 자동 스티칭을 제안한다. 병리 영상의 경우, 전체적으로 밝기값이 유사해 밝기값을 기반으로 하는 유사성 측정 방법으로는 정확한 강체 정합이 어렵다. 제안방법은 영상의 밝기값이 아닌 하나의 영상으로 스티칭될 때 맞춰져야 하는 외곽선 정보를 사용해 강체 정합한다. 수행 과정은 전체적으로 세 단계로 이뤄지는데 첫째, 템플릿 매칭 기법을 사용한 부분 영상 내 문자 인식을 통해 부분 영상의 위치를 초기화한다. 둘째, 강체 정합 시 지역적 최적화에 수렴되는 것을 방지하기 위해 코너점을 이용해 영상의 위치를 보정한다. 셋째, 부분 영상 간 거리 차 제곱 합의 최적화를 통해 강체 정합을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 위치보정 및 강체정합을 통한 자동 스티칭을 단계별로 기술하고, 3장에서는 제안방법의 객관적인 평가를 위한 실험 및 결과 분석을 제시하며 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 위치 보정 및 강체 정합을 통한 자동 스티칭

그림 1은 본 논문에서 제안하는 방법의 순서도이다. 입력 데이터는 2조각으로 나누어진 병리 영상으로 영상의 위치 초기화와 보정 단계를 통해 강제 정합의 정확성을 최대 높일 수 있도록 한다. 강제 정합은 영상간의 거리 차의 제곱 합이 최소화 될 때 최적화가 된다는 가정 하에 수행하고 이를 통해 얻어진 변환 벡터를 부분 영상에 적용해 하나의 스티칭된 병리영상을 획득한다.

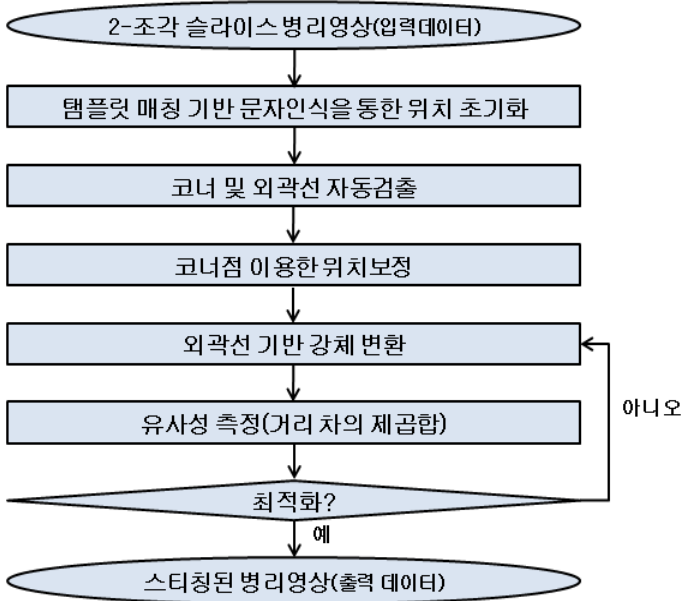


그림 1. 제안 방법의 순서도

2.1 템플릿 매칭 기반 문자 인식을 통한 위치 초기화

부분 영상의 경우 순서 없이 흩어진 채 입력되기 때문에 강제 정합을 위해 나누어진 영상을 하나의 영상으로 배치하는 과정이 필요하다. 이 때, 부분 영상은 전체 조직 구조와 일치되는 위치로 초기화 되어야 한다.

조각 병리 영상에는 그림 2와 같이 해당 조각의 위치를 나타내는 문자가 표현되어 있다. 위치 초기화 과정은 템플릿 매칭 기법을 이용해 이 문자에 대한 템플릿 이미지와 부분 영상간의 상관계수가 최대값으로 측정되는 위치를 탐색해 부분 영상을 좌우로 배치한다. 초기화 이후 영상 내 문자는 영상의 가시성을 높이고, 강제 정합을 위한 외곽선 검출과정에서 검출되지 않도록 제거한다.

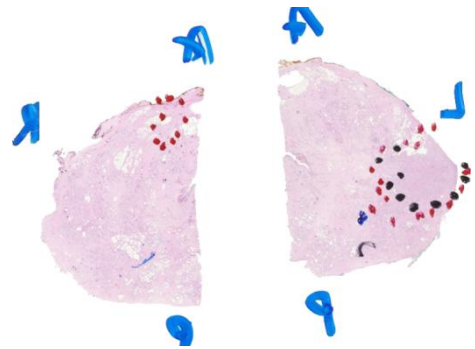
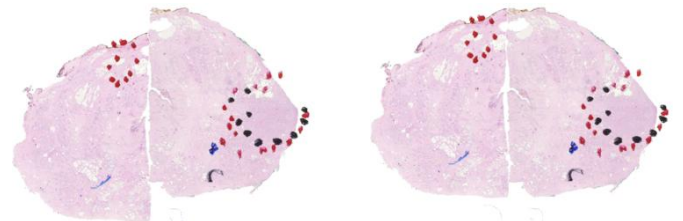


그림 2. 입력 데이터의 원본 영상
2.2 코너점을 이용한 위치 보정

위치 초기화 후, 좌우로 배치된 영상 간 거리 차이가 클 경우 강제 정합 수행 시 지역적 최적해(local optima)에 수렴되어 정확한 정합이 어렵다. 따라서, 조각 영상 간 거리차이를 좁혀 지역적 최적해로 수렴되는 문제를 해결한다.

영상의 위치 보정을 위한 코너점 추출 전 강제 정합을 위한 관심 영역 부위의 외곽선을 먼저 검출한다. 외곽선 추출을 위하여 조각 영상 간 스티칭 될 절단면 부위를 관심 영역으로 지정한 후, 밝기값 변화율을 측정하는 3x3 크기의 소벨마스크를 이용하여 변화율이 큰 부분을 검출한다. 코너점 추출을 위하여 추출된 외곽선 정보 중 상하좌우 방향에서 동시에 밝기 값의 변화가 일어나는 지점을 검출한다. 추출된 코너 점을 이용해 절단면의 x-, y-축 방향의 위치 차이를 감소시키기 위하여 위치를 보정한다.

그림 3은 위치 보정 수행 여부에 따른 강제 정합 결과를 나타낸다. 그림 3(a)는 위치 보정을 수행하지 않고 스티칭을 한 결과이며, 그림 3(b)는 위치 보정 후 스티칭한 결과로 조각 영상 간 위치 차이가 큰 경우, 위치 보정을 수행하지 않으면 강제 정합 시 지역적 최적해에 수렴되어 정합의 정확성에 영향을 미친다.



(a) 위치 보정을 거치지 않고 스티칭된 영상
(b) 위치 보정을 거친 후 스티칭된 영상

그림 3. 위치 보정 여부에 따른 스티칭 결과

2.3 강제 정합을 이용한 스티칭

분리되어 있는 조각 영상 간 서로 다른 이동 및 회전 변화가 있으므로 이를 맞춰주기 위한 최적의 변환을

찾을 수 있는 강제 정합이 필요하다. 병리 영상의 경우, 영상 내 밝기 값이 유사해 밝기값 기반의 유사성 측정 방법으로는 정합의 정확성이 떨어질 수 있으므로 본 논문에서는 외곽선 정보를 기반으로 강제 정합 방법을 수행한다.

강제 정합 전, 검출된 외곽선 간 유사성 측정은 식 1과 같이 거리 차의 제곱 합(SSDD: Sum of Squared Distance Difference)을 사용하고 거리 차가 최소가 될 때 유사 정도가 최대가 된다고 정의한다.

$$SSDD = \frac{1}{N} \sum_i^N (Ref(i) - Float'(i))^2 \quad (식 1)$$

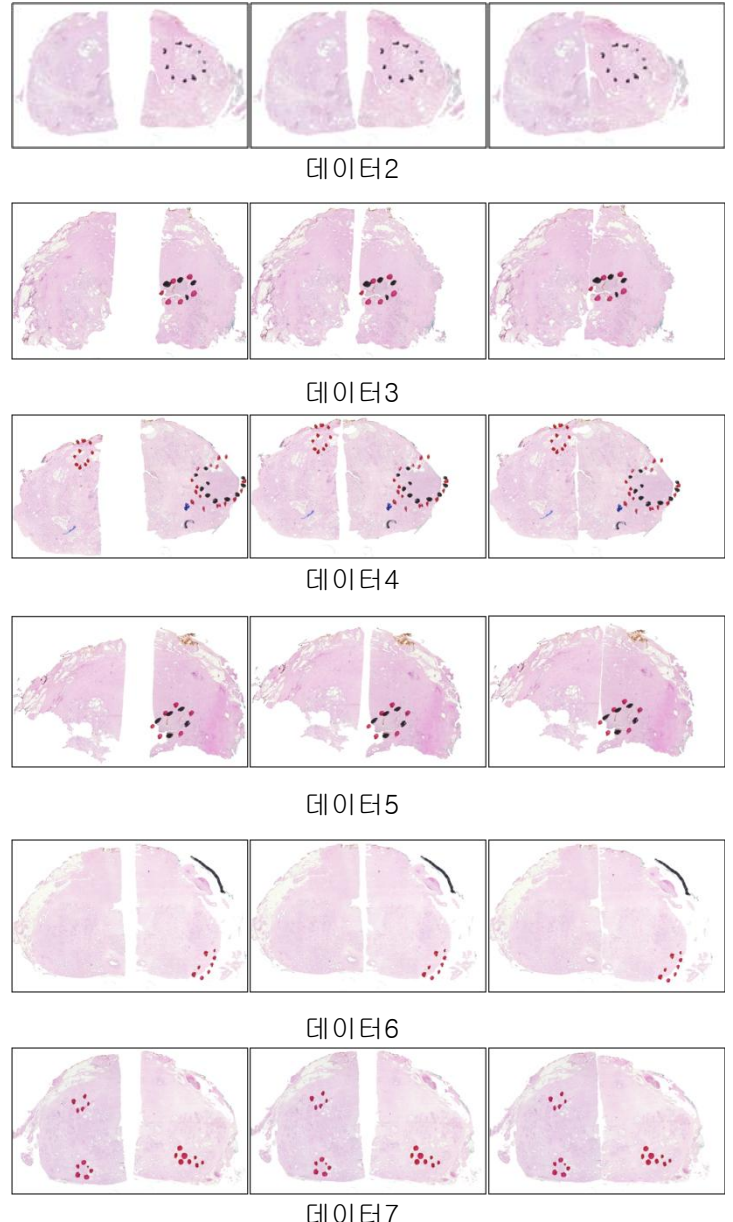
이 때, Ref(i)는 기준 영상에서 i번째 외곽선을 나타내고, Float'(i)는 변환된 부동 영상에서 대응되는 외곽선을 나타내며, N은 관심영역 내에서 외곽선을 나타내는 픽셀의 수를 뜻한다.

거리 차의 제곱 합의 최적화 방법은 파월 최적화 방법[3]을 사용하고, Y축(상하)이동 변환, X축(좌우)이동 변환, 회전 변환 순으로 최적화한다.

3. 실험 및 결과

본 논문의 제안 방법은 Intel(R) Core2 2.40GHz CPU와 2.93GB RAM을 장착한 PC에서 C++언어와 OpenCV, MFC 라이브러리를 사용해 구현하였다. 실험에 사용된 영상은 전립선암을 가진 7명의 환자로부터 획득된 7쌍의 부분 병리 영상으로 한 장당 3720 x 5557의 해상도로 모두 동일하고 실험은 388 x 580 크기로 줄여 실험하였다.

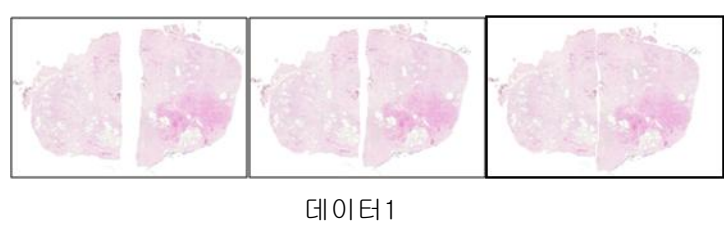
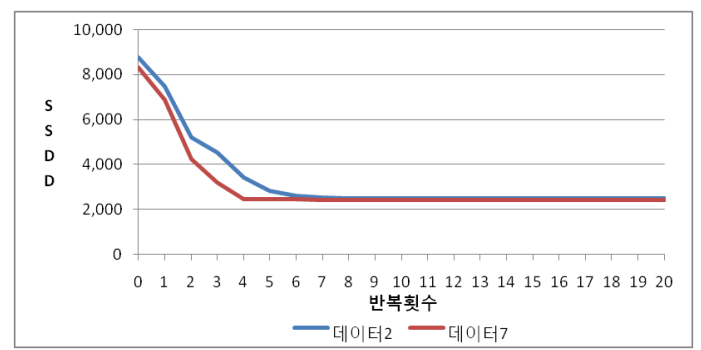
정합의 정확성 및 견고성을 평가하기 위하여 최적화 반복횟수에 따른 거리 차의 제곱 합의 변화와 각각의 변환 벡터에 따른 거리 차의 제곱 합의 변화, 수행시간을 측정하였다. 그림 3은 제안 방법에 대한 수행 결과를 단계별로 나타낸 것으로 위에서부터 데이터 1에서 데이터 7의 결과를 나타낸다. 그림 4(a)는 위치 초기화 후의 영상을 나타내고, 그림 4(b)는 위치 보정 후의 영상이다. 그림 4(c)는 강제 정합 후 자동 스티칭된 결과 영상으로 각각의 부동 영상에 최적화된 이동, 회전 변환이 적용되어 하나의 영상으로 스티칭되는 것을 확인할 수 있다.



(a) 위치 초기화 (b) 위치 보정 (c) 강제 정합 후 스티칭 결과

그림 4. 수행 단계별 영상

그림 5는 정합의 정확성 평가를 위한 실험으로 최적화 반복 횟수에 따른 거리 차의 제곱 합(SSDD)의 변화를 나타내는 그래프이다.



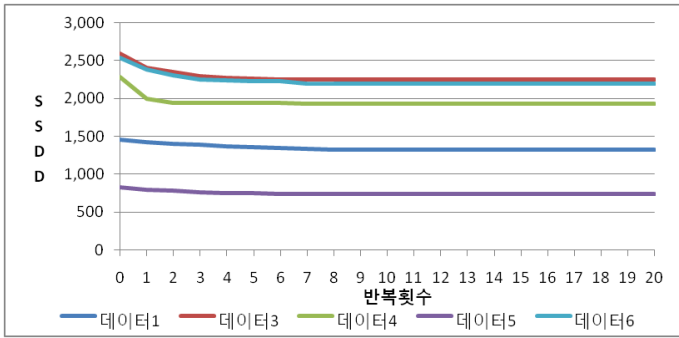
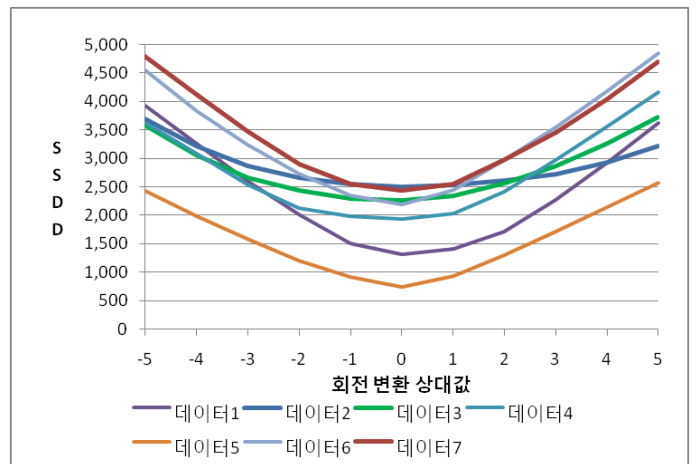


그림 5. 반복 횟수에 따른 거리 차의 제공 합 측정

병리 조각영상 7쌍의 실험 데이터는 평균 12회의 최적화 후에 수렴되었고, 지역적 최적해에 빠지지 않고 전역적 최적해에 빠르게 도달함을 알 수 있었다. 데이터 2번과 데이터 7번의 수렴 그래프는 다른 실험데이터와 비교하여 초기 위치 차이가 많을수록 거리 차의 제공합 수치 변화량이 큰 것을 알 수 있다.

그림 6은 최적화된 변환 결과의 견고성을 평가한 그래프로 이동 변환 벡터를 최적의 위치로부터 -5 픽셀에서 5픽셀까지 1픽셀씩 이동 했을 경우와 회전 변환 벡터를 최적의 위치로부터 -5도에서 5도까지 1도씩 회전 했을 때의 거리 차의 제공 합을 나타낸 것이다. 이 때, 변화시키는 변환 벡터가 아닌 다른 변환 벡터는 최적값으로 고정하여 실험했다. 그림 6(a)는 이동 변환에 따른 거리 차의 제공 합 변화량을 나타내며, 그림 6(b)는 회전 변환에 따른 거리 차의 제공 합을 나타내는데 수렴 과정에서 지역적 최적화 위치에 수렴되지 않고 전역적 최적화 위치로 견고하게 수렴됨을 알 수 있다.



(b) 회전 변환에 따른 SSDD 변화

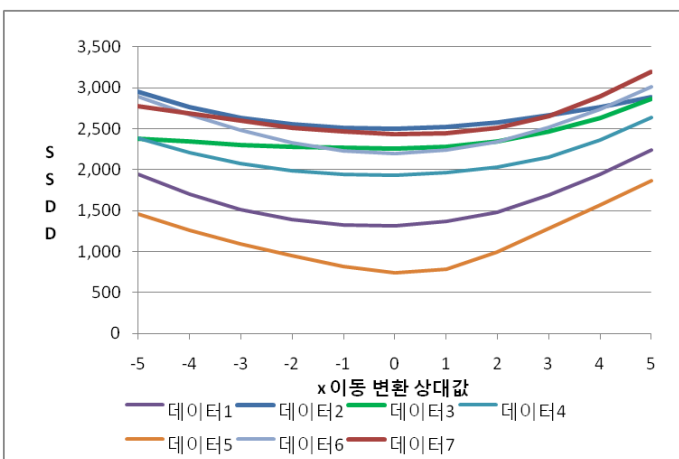
그림 6. 변환 벡터에 따른 거리 차의 제공 합(SSDD) 측정

4. 결 론

본 논문에서는 2조각 슬라이스로 나눠서 획득된 전립선 병리 영상을 강제 정합을 이용하여 하나의 영상으로 자동 스티칭하는 방법을 제안하였다. 제안 방법은 템플릿 매칭 기법을 사용해 표기된 문자를 인식하여 영상의 좌우 위치를 자동으로 맞춘 후, 정합의 정확성을 높이기 위해 영상의 위치를 코너 점을 이용해 보정한다. 위치 보정 후 추출된 외곽선을 기반으로 한 거리 차의 제공 합의 최적화를 통해 강제 정합을 수행하여 산출한 강제 변환 벡터를 병리 영상에 적용시켜 하나의 영상으로 자동 스티칭한다. 실험은 7쌍의 부분 병리 영상 데이터를 이용하여 시행하였고 실험 결과는 부분 영상이 영상 사이의 간격을 최소화하여 하나의 영상으로 스티칭되는 것에 대한 육안 평가와 정확성, 견고성 평가를 통해 거리 차의 제공 합의 수치가 최소화되어 수렴함을 보였다. 본 논문의 제안 방법은 부분 영상을 하나의 영상으로 스티칭해줌으로써 병리 조직의 전체적인 구조 파악과 이를 이용한 암의 확진에 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Vladan Rankov†, Rosalind J. Locke, Richard J. Edens, Paul R. Barber, Borivoj Vojnovic, "An algorithm for image stitching and blending", Proceedings of SPIE, Vol. 5701, 2005.
- [2] Changming Sun, Richard Beare, Volker Hilsenstein, Paul Jackway, "Mosaicing of microscope images with global geometric and radiometric corrections", Journal of Microscopy, Vol. 224 , pp. 158-165, 2006.



(a) 이동 변환에 따른 SSDD 변화

[3] W. H. Press, B.P. Flannery, S. A. Teukolsky, W.T. Vetterling, "Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing", Cambridge University Press, 1992.