

시각 기반 문서 비교 환경을 위한 이미지 매칭 최적화

신희재, 이재민, 김동성

금오공과대학교 IT융복합공학과

{shinheejae, ljmpaul, dskim}@kumoh.ac.kr,

Image matching optimization for visual-based document comparison environment

Hee-Jae Shin, Jae-Min Lee, Dong-Seong Kim

Kumoh National Institute of Technology, Dept. of IT Convergence Eng.

요약

본 논문에서는 서로 다른 두 문서를 비교할 때 특징 추출 알고리즘을 효율적으로 활용하는 방법을 제안하고 성능 분석 실험을 진행한다. 문서를 시각적으로 비교할 때, 특히 원본 문서와 스캔된 문서를 비교하는 경우, 스캔 과정에서 발생하는 회전 및 크기 왜곡과 같은 기하적 변형 요소를 보정하기 위한 이미지 정합이 필수적이다. 본 연구는 특징점 추출 알고리즘을 통해 얻은 특징점들을 그리드 기반의 지역 매칭 전략을 적용하여 매칭 과정을 최적화하는 방법을 제안한다. 또한 BRISK, ORB, AKAZE, KAZE, SIFT와 같은 다양한 특징점 추출 알고리즘을 사용하여 제안된 방법의 효과와 성능을 분석하였다. 실험 결과 제안된 그리드 기반 매칭 방식이 기존 방식 대비 이미지 정합 시간을 효과적으로 단축시키는 동시에 유사한 수준의 정합 정확도를 제공함을 확인하였다.

I. 서론

디지털 문서의 진위 여부를 검증하거나 문서 간 변경 사항을 추적하는 일은 행정, 법률, 국방, 산업 등 다양한 환경에서 중요한 과제로 떠오르고 있다. 특히 군수 및 방산 분야의 시험 인증 환경에서는 위변조 방지 기술의 필요성이 강조되고 있다[1]. 포맷이 동일한 디지털 문서의 위변조 여부는 일반적으로 해시 및 유사도 해시를 사용할 수 있으며, 다양한 해시 기반 알고리즘을 구현하여 비교할 수도 있다[2]. 그러나 그림 1(b)과 같이 종이 문서를 스캔한 디지털 문서를 원본과 비교하는 경우, 스캔 과정에서 발생하는 회전, 크기 등의 왜곡으로 인해 단순 오버레이 방식으로 정확한 비교가 어렵다. 따라서 왜곡 요소를 보정하기 위한 이미지 매칭 과정이 필수적이다. 이미지 매칭에는 다양한 방식이 존재한다. 매칭은 특징점 기술자 간에 유사도를 계산하는 것으로써 이진 기술자, 기술자 축소 등 방식 등 다양한 기술을 통해 소요 시간을 줄일 수도 있다[3]. 매칭에 사용할 기술자를 모두 사용하면 정확도는 다소 높아질 수 있어도, 연산량 증가로 인해 처리 시간이 길어진다. 따라서 본 논문에서는 문서 비교 환경을 고려한 이미지 매칭의 최적화 방안을 제안하고자 한다.



그림 1 원본 문서 및 비교 대상 문서 정합 여부에 따른 합성 결과

II. 설계

제안하는 알고리즘은 페이지를 균일한 크기로 나누고, 각 그리드 내의 특징점들끼리만 매칭을 시도하는 방식을 사용하도록 한다. 이 과정을 통해 매칭 후보 쌍을 생성한 후, 그리드별 매칭 결과들을 종합적으로 분석하여 페이지에 대한 종합적인 변환을 추정하고, 이를 통해 최종 매칭을 결정하도록 한다. 이러한 방식은 예상되는 왜곡 정도에 따라 조절될 수 있으며, 페이지에 여백이 있고 약간의 크기 및 회전 왜곡이 존재하는 환경을 고려하여 3x3 그리드로 설계하였다. 다만 이미지를 물리적으로 분할한 후 각 부분 이미지에서 특징점을 추출하는 방식은 분할 오버헤드와 특징점 추출 연산의 중복 수행으로 인해 비효율적일 수 있다. 따라서 본 알고리즘은 이미지를 직접 분할하지 않고, 전체 페이지에서 추출된 특징점들을 사전에 정의된 그리드 공간에 따라 논리적으로 할당 및 그룹화하여 사용한다. 예를 들어, 3x3 그리드의 경우, 매칭 탐색 공간이 약 1/9로 감소하여 매칭 연산 시간을 크게 단축할 수 있다. 이는 최종 특징점 개수를 제한하여 매칭 시간을 줄이는 기존 접근 방식과 유사한 이점을 제공한다. 동시에, 모든 추출된 특징점을 잠재적으로 활용할 수 있으므로, 매칭 정확도의 저하 없이 전반적인 매칭 효율성을 향상할 수 있다.

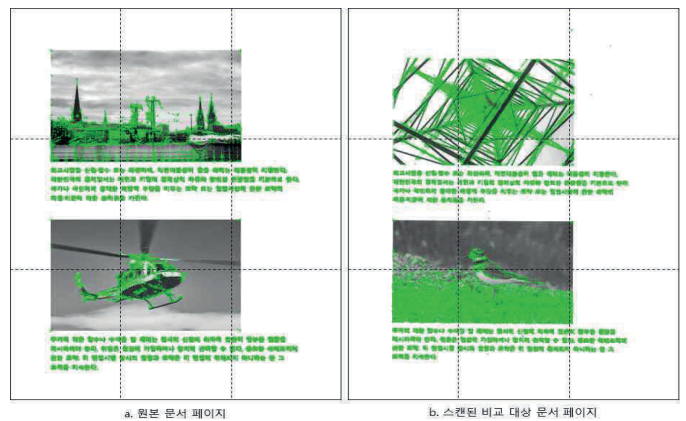


그림 2 특징점 추출 및 그리드 기반 지역 매칭 과정

III. 실험 및 결과

본 연구는 제안된 그리드 기반 지역 매칭 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 다양한 특징점 추출 알고리즘을 활용하여 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 문서는 임의로 제작된 PDF 형식의 원본 문서와 일부 내용 변경 후 스캔된 비교 대상 문서로 구성되었다. 총 8페이지(텍스트 전용 4페이지, 텍스트와 이미지 혼합 4페이지)로 구성된 문서를 활용하여 성능을 평가하였다. 실험에는 BRISK, ORB, AKAZE, KAZE, SIFT 특징점 추출 알고리즘을 사용하였으며, 매칭 방식은 모두 CV2 라이브러리의 BFMatcher를 이용하여 일관성을 유지하였다.

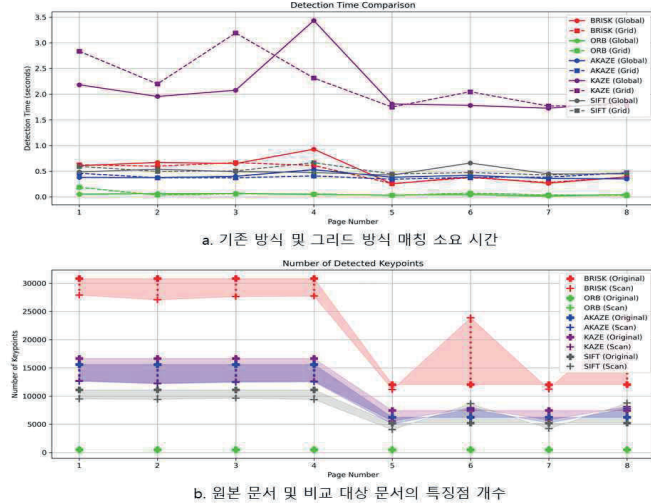


그림 3 특징점 알고리즘별 추출 시간 및 특징점 개수 비교

그림 3의 상단 그래프는 특징점 추출 시간을 나타내며, 제안된 그리드 방식과 기존 방식 간의 시간 차이는 거의 발생하지 않았다. KAZE 알고리즘이 특징점 추출 시간이 가장 길었으며, BRISK 알고리즘은 가장 많은 수의 특징점을 추출하였다. 특히 문자만 포함된 페이지(1~4페이지)는 특징점 수가 많았으며, 이미지를 포함한 페이지는 이미지 특성에 따라 특징점 수가 달라졌다. 각 특징점의 기술자는 유사도 기반의 매칭 후보를 생성하며, RANSAC 알고리즘을 통해 이상치를 제거하여 신뢰성 있는 매칭 결과를 확보하였다.

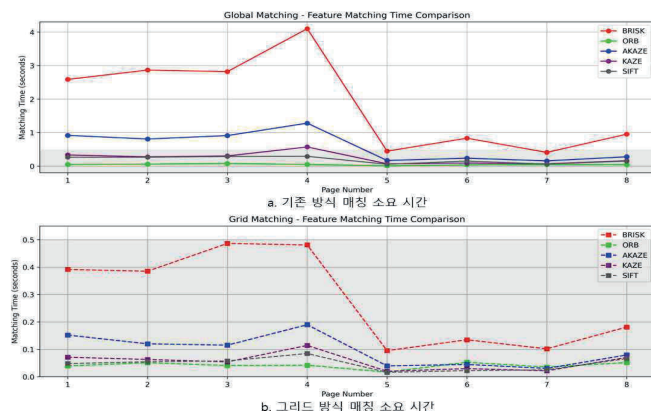


그림 4 특징점 알고리즘별 매칭 시간 비교

그림 4의 결과에서는 제안된 그리드 기반 매칭 방식이 기존 방식에 비해 매칭 시간을 유의미하게 단축했음을 확인할 수 있다. 특히 BRISK 알고리즘에서는 평균적으로 매칭 시간이 82.59% 감소했으며, 전체 이미지 매칭 소요 시간도 52.57% 감소하였다. 그림 5(a), (b)는 전체적인 이미지 매칭 소요 시간을 비교한 결과로, BRISK와 AKAZE는 각각 52.57%, 32.87%의 시간 감소율을 보였고, SIFT도 11.78% 감소하였다. 반면 ORB와 KAZE는 크게 영향을 받지 않았다.

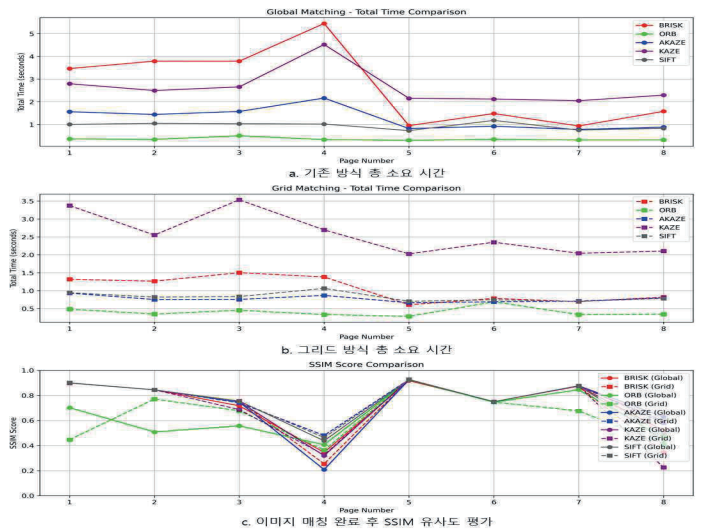


그림 5 특징점 알고리즘에 대한 매칭 시간 비교 및 SSIM 결과

그림 5(c)는 이미지 매칭 후의 SSIM 평가 결과를 나타낸다. 동일한 요소가 존재하는 1~3 페이지 및 5~7 페이지는 대부분 성공적으로 정렬되어 높은 SSIM 점수를 기록하였다. 4, 8페이지는 동일한 요소가 없어 매칭에 실패하여 낮은 점수를 기록하였다. ORB 알고리즘의 경우 기술자 수 기본 값이 500개로 제한되어 있어 기존 방식, 제안하는 방식에서 일부 매칭 실패 사례가 발생했으나, 대부분의 알고리즘은 성공적으로 매칭하였으며 제안된 방법과 기존 방식 간에 동등한 수준의 매칭 정확도를 보였다.

IV. 결론

본 논문은 시각 기반 문서 비교를 위한 그리드 기반 지역 매칭 최적화 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 페이지를 그리드로 나누어 지역 매칭을 통해 페이지 전체의 변환을 효율적으로 추정하며, 다양한 특징점 추출 알고리즘에 대한 실험을 통해 이미지 매칭 시간 단축 효과를 확인하였다. 또한, 제안된 방법은 기존 방식과 동등한 정합 정확도를 제공하면서도 매칭 효율성을 크게 개선할 수 있음을 입증하였다. 추후에는 같은 특징점 추출 알고리즘에 대해서 기술자의 개수 등 여러 옵션을 조정된 상황에 적용한 경우의 영향을 확인하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성사업(IITP-2025-RS-2020-I201612, 33%) 과 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2018R1A6A1A03024003, 33%)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2025-RS-2024-00438430, 34%)

참고 문헌

- [1] D.-S. Kim, "국방 군수 ICT 융합기술 확대를 위한 환경 구축 및 제언", The Journal of The Korean Institute of Communication Science s, Vol. 41, No. 2, pp. 3-11, 2024
- [2] J.-H. Cha, J.-M. Lee, D.-S. Kim, "국방시협평가서의 위변조 방지를 위한 하이브리드 블록체인 설계 및 구현", The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 41, No. 2, pp. 43-52, 2024
- [3] K. Joshi, M. I. Patel, "Recent advances in local feature detector and descriptor: a literature survey", International Journal of Multimedia Information Retrieval, pp. 231-247, 2020