

디지털 홀로그래피에서의 수정된 골드스테인 알고리즘을 이용한 위상 펼침

Phase Unwrapping Using Modified Goldstein Algorithm in Digital Holography

윤선규*, 조형준*, 김두철*, 김성규**, 유영훈*

*제주대학교 물리학과, **한국과학기술연구원

rhmonkey@kist.re.kr

디지털 홀로그래피를 통해 얻어진 물체의 위상정보는 물체의 3차원 정보를 분석하는데 사용되어지고 있다. 이때 디지털 홀로그래피를 통해 얻어진 위상정보는 기준파와 물체파의 위상차(ϕ)를 나타낸다. 실제 물체의 위상은 2π 범위 이상의 값을 가지고 있지만, 위상차 정보의 범위는 $-\pi \leq \phi < \pi$ 이다. 위상 펼침(phase unwrapping)은 수치적 해석을 통하여 복원하는 방법이다.^(1~3) 1차원 위상 펼침은 Itoh⁽⁴⁾의 이론이 많이 사용되고 있고, 이 원리는 인접한 위상차간의 미분값은 같은 구간내의 실제 위상의 미분값과 같음을 이용한다. 그러나 불연속 미분값을 갖는 특이점들이 존재할 때 적분되어진 값은 원래의 위상과 다른 값을 갖는다. 만약 2 차원 배열에서 특이점이 존재하지 않는다면, 적분값은 모두 같지만, 특이점이 존재 하는 경우에는 적분값이 다른 결과를 얻는다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 일반적으로 사용되는 알고리즘 중 하드웨어적인 부담 및 연산시간이 가장 짧은 Goldstein 알고리즘이 많이 사용하고 있다.⁽⁵⁾ 이 알고리즘은 가까운 거리의 미분 불연속 특이점을 찾아 연결하여 전체적인 값을 0으로 만들어준다.

Goldstein 알고리즘은 복잡하고 해상도 근처에서 문제를 발생시킨다. 이는 Goldstein 알고리즘 특성상 일정한 거리를 두고 발생하는 특이점 쌍에 대해서는 최단거리를 이용하여 연결하기 때문에 발생하는 것으로, 해상도 근처에서 나타나고 그림 1과 같다.

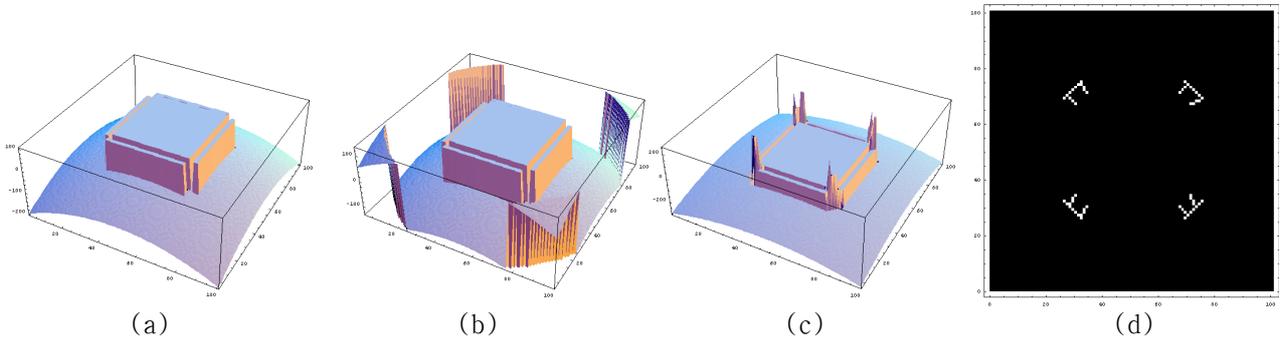


그림 1. 전산기 시뮬을 통한 Goldstein 알고리즘 결과
: (a) 물체, (b) Wrapped 데이터, (c) 펼침 데이터, (d) 특이점 연결

그림 1(c)에서 보여지는 바와 같이 중앙의 사각형의 모서리에서 잘못된 결과가 나타나고 있다. Wrapped 데이터에서 특이점은 반구와 각각의 사각형이 만나는 경계에서 발생한다. 이때 대간선 방향으로 인접한 두 픽셀의

차를 이용하여 경계선에 대한 정보를 얻으면 그림 2(a)에 같은 결과를 얻을 수 있다.

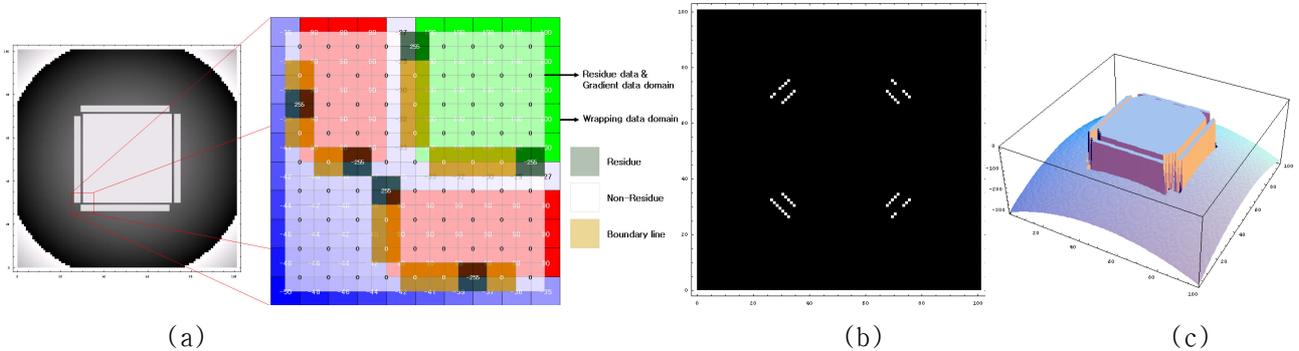


그림 2. 각 데이터의 관계와 전산기 시능을 통한 수정된 Goldstein 알고리즘 결과
 : (a) wrapped 데이터와 특이점, 경계선의 관계, (b) 특이점 연결 상태, (c) 펼침 데이터

그 결과 동일한 사각형에서 발생하는 특이점은 동일 경계선에 존재하고 쌍을 이루고 있음이 확인되어지고, 경계선에 존재하는 특이점을 우선적으로 연결하도록 Goldstein 알고리즘을 수정하면, 그림 2(b)에서 보는바와 같이 잘못된 특이점 연결의 이 변화되었다. 따라서 그림2(c)와 같이 위상 펼침 결과도 잘못 계산되어진 부분이 수정되었음을 확인 할 수 있다.

참고문헌

1. J. M. Huntley, "Noise-immune phase unwrapping algorithm", Appl. Opt., vol.28, 3268-3270 (1989)
2. T. J. Flynn, "Two-dimensional phase unwrapping with minimum weighted discontinuity", J. Opt. Soc. Am. A, vol.14, No. 10, 2692-2701
3. G. Fornaro, G. Franceschetti, R. Lanari, E. Sansosti and M. Tesauro, "Global and local phase unwrapping technique: A comparison", J. Opt. Soc. Am. A, Vol 12, 2355-236
4. Howard A. Zebker and Yanping Lu, "Phase unwrapping algorithms for radar interferometry: residue-cut, least-squares, and synthesis algorithms", J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 15, 586-597 (1998)
5. Vyacheslav V. Volkov and Yimei Zhu, "Deterministic phase unwrapping in the presence of noise", Opt. Lett., Vol. 28, 2156-2158 (2003)