

새로운 멀티피델리티(Multi-fidelity) 크리깅 대리모델과 최적화 전략

조상현¹, 김지언¹, 윤경호², *노건우¹
¹고려대학교, ²연세대학교

*gunwoonoh@korea.ac.kr

A novel multi-fidelity kriging surrogate model and optimization strategy

Sanghyun Cho¹, Jieon Kim¹, Kyungho Yoon², *Gunwoo Noh¹
¹Korea Univ., ²Yonsei Univ.

요약

멀티피델리티(Multi-fidelity) 대리모델은 필요한 정확도를 낮은 비용으로 달성할 수 있어 공학 최적화에서 많은 주목을 받고 있다. 이러한 방법은 복잡한 공학 설계에서 모델링 효율성과 정확도 간의 균형을 맞추기 위해 널리 사용되며, 특히 고정밀 시뮬레이션이나 물리 실험이 시간 소모적이거나 비용이 많이 들고 데이터 가용성이 제한된 경우에 유용하다. 멀티피델리티 대리모델의 성능을 높이기 위해서는 제한된 멀티피델리티 데이터의 활용을 극대화하는 것이 중요하며 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 멀티피델리티 데이터의 활용을 극대화할 수 있는 새로운 멀티피델리티 크리깅 대리모델과 이를 최적화하는 방법론을 제안한다. 다양한 수치적 예제들을 통해 새로운 멀티피델리티 크리깅 대리모델과 기존 멀티피델리티 방법론들을 비교함으로써 제안하는 방법론의 유효성을 확인하였다.

I. 서론

시뮬레이션 기술이 발달함에 따라 복잡한 공학 문제를 해결하는데 고밀도 시뮬레이션이 널리 사용되고 있다. 하지만, 고밀도 시뮬레이션은 전산비용이 높아 최적화 문제들을 해결하는데 적합하지 않아, 고밀도 시뮬레이션을 대체할 수 있는 대리모델이 널리 사용되고 있다. 대리모델의 정확도를 확보하기 위해서는 고충실도의 데이터의 수가 충분히 확보되어야 한다. 하지만 자원이 제한되어 있어 고충실도 데이터를 충분히 확보하기 어려운 경우 대리모델의 정확도를 확보하기 어렵다. 이런 문제를 해결하기 위해 멀티피델리티(Multi-fidelity) 방법론이 제안되었고 최근까지 많은 연구가 진행되어 오고 있다 [1].

II. 본론

본 논문에서는 제안하는 새로운 멀티피델리티 크리깅 대리모델에 대해 설명한다. 지금까지 연구되어 온 멀티피델리티 모델은 일반적으로 저충실도 모델에 상수 스케일링 및 잔차 모델을 더하여 모델을 구성한다. 본 논문에서 제안하는 멀티피델리티 크리깅 모델은 상수 스케일링과 함께 저충실도 크리깅 모델의 하이퍼파라미터인 θ 를 같이 스케일링하여 저충실도 모델을 고충실도 데이터에 맞게 튜닝한다. 또한, 잔차 모델이 오버피팅이 잘 일어난다는 점을 보완하기 위해 잔차 모델의 후보로 회귀모델과 보간모델을 두어 잔차 데이터에 적합한 모델이 선정되도록 하였다. 최종적으로 고충실도 데이터에 맞게 튜닝된 저충실도 크리깅 모델과 잔차 데이터에 맞게 선정된 잔차 모델을 더하여 멀티피델리티 크리깅 모델을 구성하였다.

다양한 수치 예제들을 통해 본 논문에서 제안하는 멀티피델리티 크리깅 모델을 주요 멀티피델리티 모델과 비교했을 때 Fig.1과 같은 결과를 얻을 수 있다 [2,3].

	Single Fidelity Kriging	Hierarchical Kriging [1]	OS-MF [2]	proposal
Bird (2D)	0.8463	0.8754	0.9088	0.9529
Colville (4D)	0.9693	0.9663	0.9223	0.9998
Rosenbrock (6D)	0.8433	0.8329	0.8400	0.9355

Fig 1. Comparison of Numerical Examples results by Methodology.

III. 결론

본 논문에서는 새로운 멀티피델리티 크리깅 대리모델에 대하여 소개하였다. 다양한 수치 예제들을 통해 새로 개발한 멀티피델리티 크리깅 대리모델이 주요 멀티피델리티 모델 대비 좋은 성능을 보이는 것을 확인하였으며 이를 통해 새로 제안하는 방법론의 유효성을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

The work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2023-00220762)

This work was partly supported by the Young Scientist Grants-Outstanding Track (Grant No. NRF-2021R1C1C1011494) through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT.

참고 문헌

[1] Fernández-Godino, M. Giselle. "Review of multi-fidelity

models." arXiv preprint arXiv:1609.07196 (2016).

[2] Kennedy, Marc C., and Anthony O'Hagan. "Bayesian calibration of computer models." *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 63.3 (2001): 425-464.

[3] Zhao, Yue, Jie Liu, and Zhelong He. "A general multi-fidelity metamodeling framework for models with various output correlation." *Structural and Multidisciplinary Optimization* 66.5 (2023): 101.