



Adaptive Sequential Estimator를 활용한 InSAR 빅데이터 처리 효율성 개선

유호영¹, 임태석¹, 이윤경¹, 김상완^{2*}¹세종대학교 에너지자원공학과
^{2*}세종대학교 지구자원시스템공학과 (swkim@sejong.edu)

ABSTRACT

최근 Sentinel-1, NISAR 미션과 같이 짧은 재방문 주기를 가진 SAR 위성개발 발전으로 방대한 양의 InSAR 시계열 데이터가 제공되고 있다. 시계열 분석을 위해 사용되는 전통적인 고정·분산산란체 추출 기법은 전체 간섭도 네트워크를 활용함에 따라 위상 최적화 과정에서 시간 효율이 크게 저하된다. 이를 개선하기 위해 최근에는 네트워크 압축 기법을 기반으로 한 재귀적 sequential estimator 활용 방법이 제시되었다. 이 기법은 데이터를 소규모 배치로 나눈 뒤 각 배치에서 데이터 공분산 행렬을 추정하여 최적 위상을 분석한 후 압축 과정을 수행한다. 하지만 고정된 압축 배치 사이즈로 인해 신호의 분기별 또는 연간 주기적 특성을 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있다. 본 연구에서는 SAR 영상의 시계열적 특성에 따라 압축 배치 사이즈를 유연하게 조정하여 위상 최적화 품질을 개선할 수 있는 adaptive sequential estimator를 제안한다. 분석을 위해 시계열 데이터에 대해 먼저 일반 우도 비 검정 기법을 사용해 통계적으로 유사한 픽셀들을 선별하였다. 시간 비상관도 특성을 고려한 유연한 배치 사이즈 조정을 위해 순차적 위상 폐합을 계산하였다. 분산산란체 후보군에 대한 순차적 위상 폐합 및 시간 긴밀도의 값이 유지되면 배치 사이즈를 늘리는 식으로 유연하게 조정하였다. 이후, 간섭 위상에 대한 고유값 분해 기반 최대우도 추정기를 통해 위상 최적화 및 압축 영상 제작을 수행하였다. 생성된 압축 영상은 재귀적으로 다음 배치와 연결되어 전체 데이터 스택을 재처리할 필요 없이 신속한 분석을 가능하게 한다. 이러한 재귀적 네트워크 분석을 통해 처리 시간이 단축되었으며 제안된 방법을 통해 크라메르-라오 하한선에 가까운 성능을 보였다. 본 연구를 통해 대규모 InSAR 데이터 처리의 효율성 및 정확성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

INTRODUCTION

Adaptive Sequential Estimator

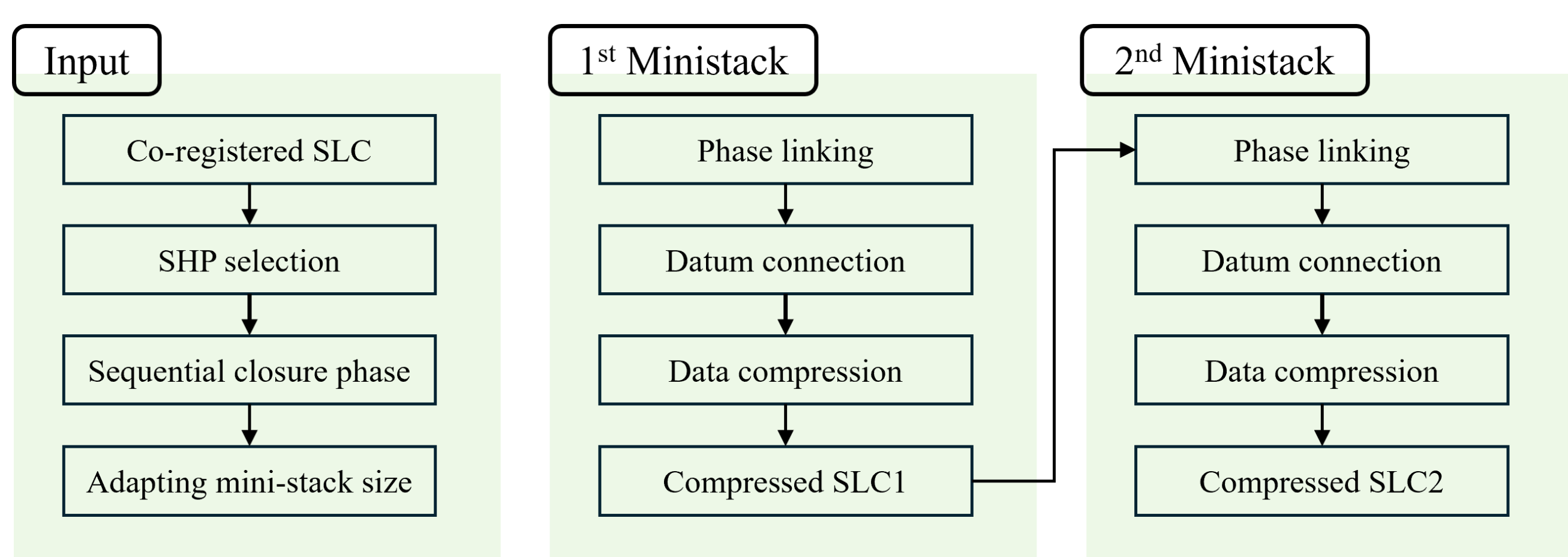


Fig 1. Adaptive sequential estimator workflow

- 효율적인 InSAR 빅데이터 처리를 위한 순차적 압축 네트워크 구성
- 연구 지역 산란체의 시계열적 시간 비상관도 특성을 고려한 압축 네트워크 크기 조정
- 본 연구는 유연한 압축 네트워크 사이즈 조정을 위해 순차적 위상 폐합 기법을 활용

METHODS

Sequential Closure Phase

- SAR single-look complex (SLC) 영상들로 제작한 간섭도들의 위상 폐합(식 1)은 0
- Multi-looking이 수행된 간섭도들의 순차적 위상 폐합은 0이 아닐 수 있음

$$\Delta\phi_{ijk} = \Delta\phi_{ij} + \Delta\phi_{jk} + \Delta\phi_{ki} \quad (1)$$

- 산란 메커니즘의 변화, 산란체의 유전율 변화와 같은 물리적 현상이 주요 원인임
- 순차적 위상 폐합으로 계산된 누적된 오차의 양을 통해 시간 비상관도 평가
- 압축 네트워크 배치 사이즈 결정 인자로 활용하여 위상 편향 고려한 네트워크 구성

Simulation

Table 1. Simulated dataset specification

Phase model	Specification
영상 개수	100개
영상 크기	100 x 100
시간 기선거리	12일
변위	6mm/y
공간적 변위 표준편차	20픽셀

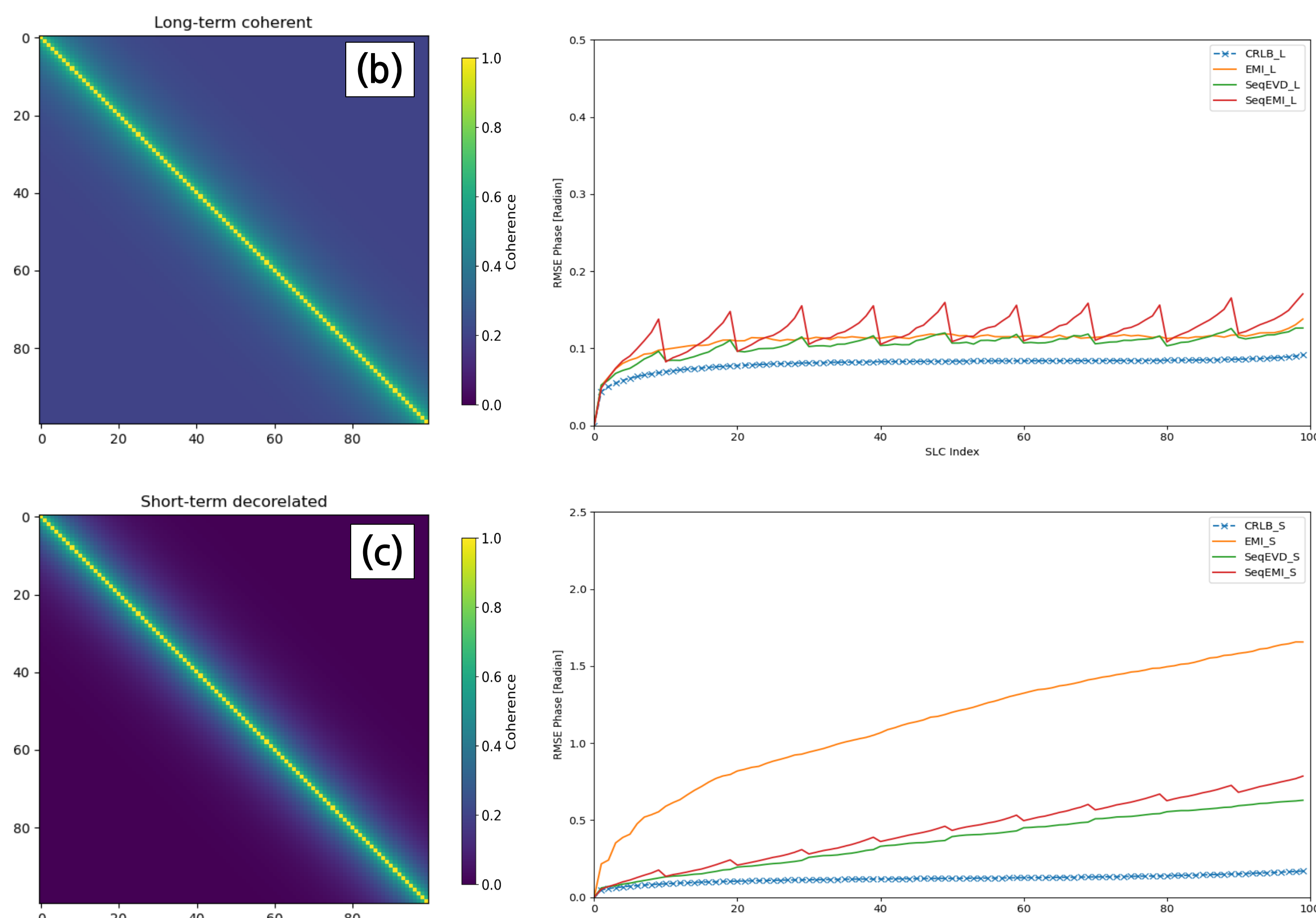
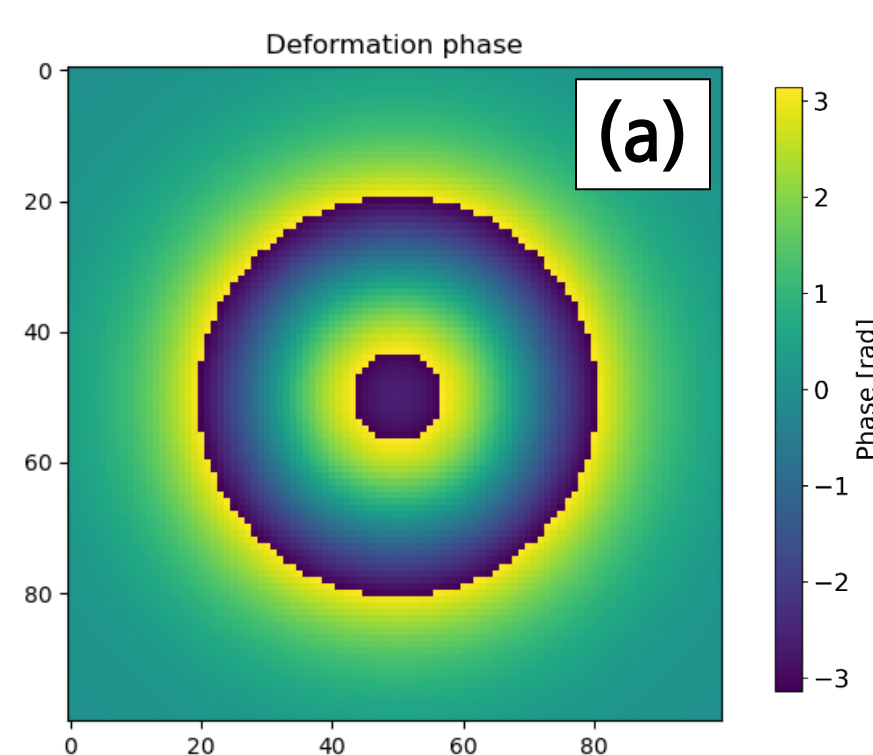


Fig 2. Simulated coherence matrix for different model and its RMSE of phase estimation (a) deformation phase (b) long-term coherent model (c) short-term decorrelated model

EXPERIMENTS

- Short-term decorrelated 모델의 경우 배치 사이즈 크기를 작게 주어 긴밀도 손실을 최소화 해야 위상 최적화 품질 기대 가능
- Long-term coherent 모델의 경우 전체 네트워크에 대한 위상 최적화를 수행하면 CRLB에 근접하나 누적 오차도 같이 포함되어 위상 편향 발생
- Fig 3.과 같이 긴밀도 0.3 이상의 네트워크 활용할 시 위상 폐합 1.17rad RMS 발생

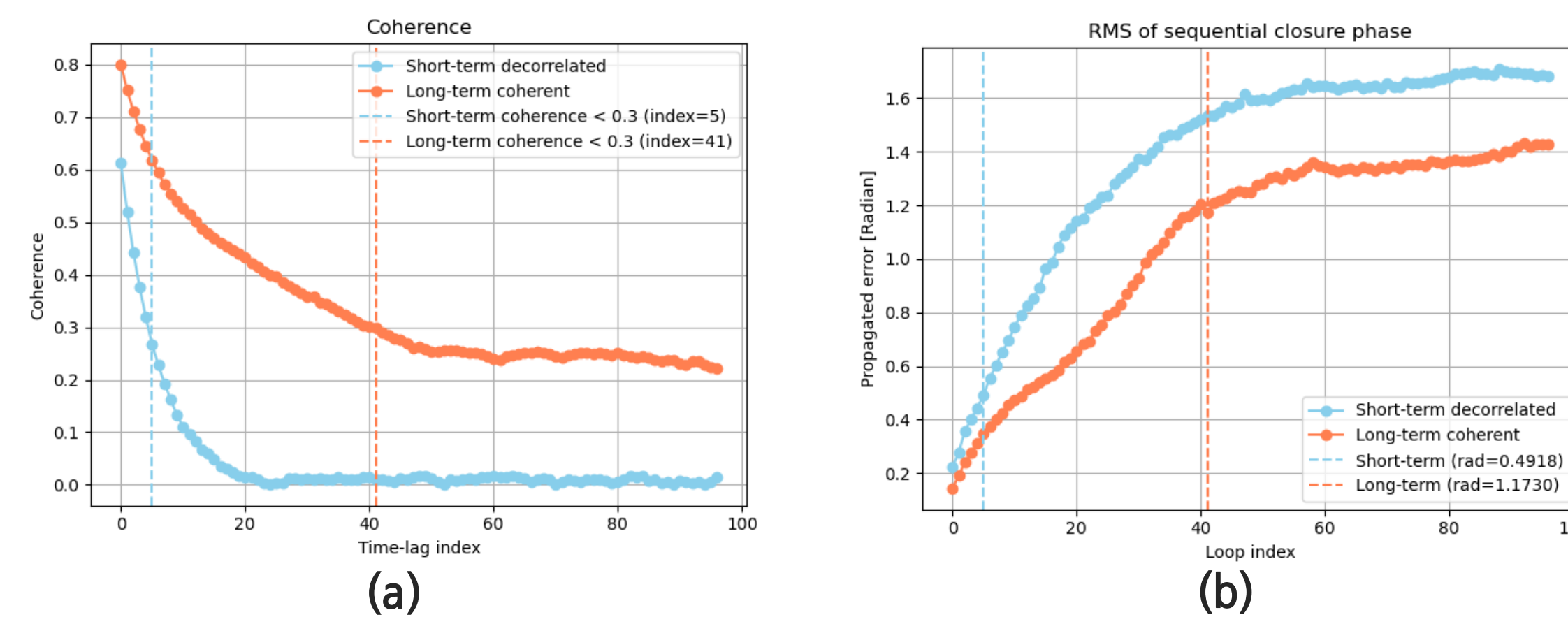


Fig 3. (a) Coherence between different time-lags (b) sequential closure phase RMS values

RESULTS

Real Data

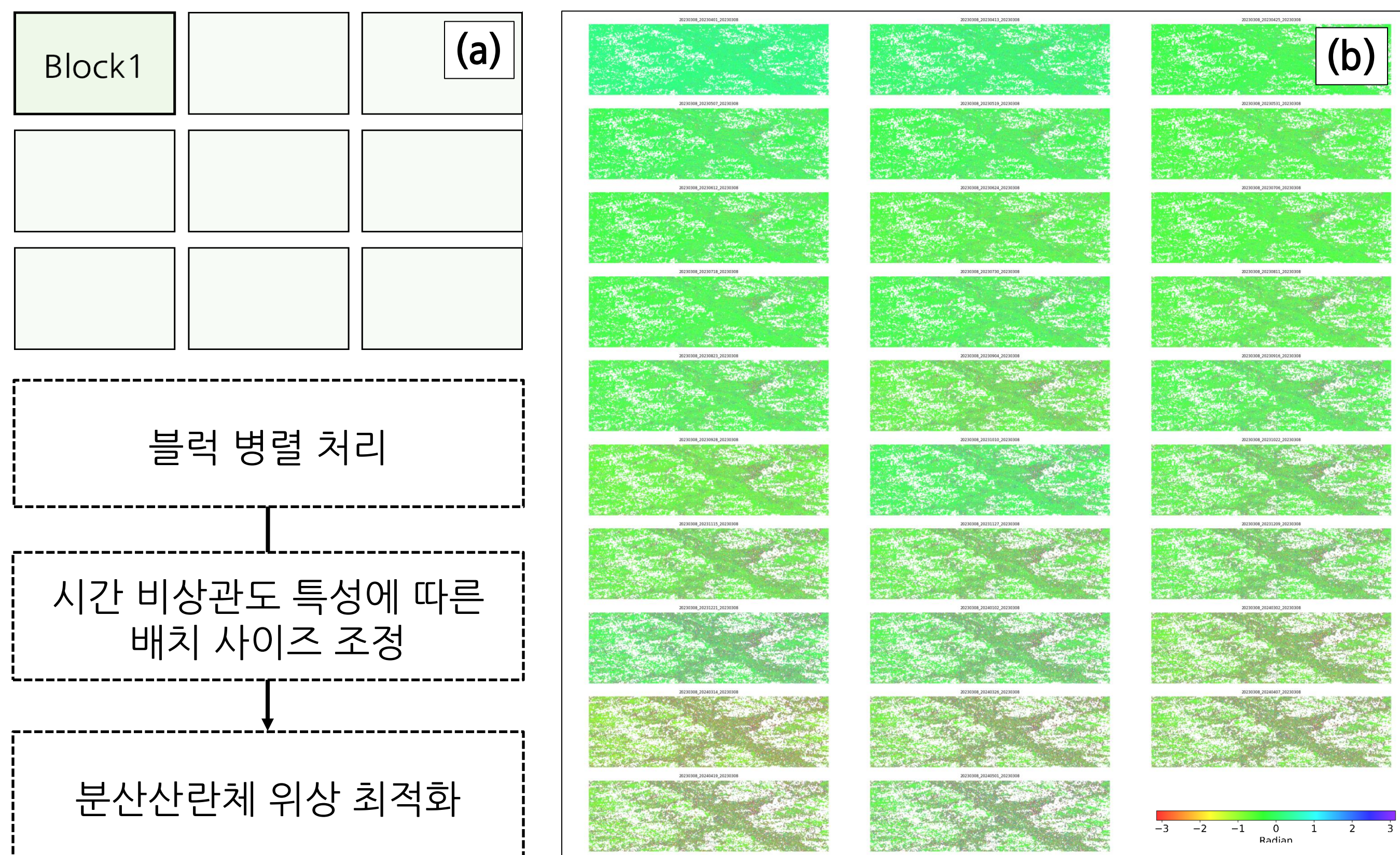


Fig 4. Adaptive sequential estimator phase optimization process using Sentinel-1 31 SLC images of Yangsan (March 8, 2023 - May 1, 2024) (a) Block-wise multi-processing sequence (b) sequential closure phase estimates (c) differential interferogram before optimization and (d) after optimization

DISCUSSION

- Sequential estimator 활용으로 CPU(Intel Zeon) 기준 10배, GPU (Nvidia RTX 3090) 추가 활용 시 20배 속도 향상
- Long-term coherent 모델과 같이 위상 편향으로 인해 발생할 수 있는 mm~cm 변위 오차 고려를 위해 배치 사이즈 조정이 필요하다고 판단
- 순차적 위상 폐합 및 긴밀도를 이용한 수학적/통계적 모델 정립 필요

ACKNOWLEDGEMENT

- 본 연구는 기상청 <강원권 단층의 수도권·영남권(동해 남부해역 포함) 연장 해석>(KMI2022-00710)의 지원으로 수행되었음.
- 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00222563).