

병렬 다중 개체군 유전 알고리즘을 이용한 지음향 파라미터 역산

Geoacoustic Parameters Inversion Using Parallel Multi-Population Genetic Algorithm

오택환*, 나정열*, 이성욱*, 김성일**, 박정수**

(Taekhwan Oh*, Jungyul Na*, Seongwook Lee*, Seongil Kim**, Joung-Soo Park**)

*한양대학교 지구해양학과와 해양음향 연구실, **국방과학연구소(진해)

(접수일자: 2005년 5월 2일; 수정일자: 2005년 7월 8일; 채택일자: 2005년 8월 8일)

본 논문은 병렬 다중 개체군 유전 알고리즘을 적용한 지음향 파라미터 역산 방법을 제안한다. 이 방법은 기존의 유전 알고리즘의 변형된 방법으로, 일반 유전 알고리즘의 단점을 보완하기 위해 사용한다. 지음향 파라미터 역산을 위해 전구를 음원으로 사용했으며, VLA 수신기를 사용하여 전구 신호를 수신하였다. 연구 결과 제안된 알고리즘을 사용하여 지음향 파라미터 역산이 가능함을 확인하였으며, 일괄처리 역산 수행에 비해 약 1.7배의 역산 속도 향상 효과가 있음을 확인하였다.

핵심용어: 정합장 신호처리, 지음향 역산, PC-클러스터, 병렬처리, 유전 알고리즘

투고분야: 수중음향분야 (5)

This paper presents the geoacoustic inversion with Parallel Multi-Population Genetic Algorithm (PMPGA). This method is the modified form of simple genetic algorithm (SGA), which is devised for complementing the defects of simple genetic algorithm. The light bulb source and vertical line array (VLA) receiver are used for geoacoustic inversion. The results of this study show the geoacoustic parameters can be estimated by PMPGA and the proposed algorithm is 1.7 times as fast as serial one on an average.

Keywords: Matched field signal processing, Geoacoustic inversion, PC-Cluster, Parallel process, Genetic algorithm.

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5)

I. 서론

수중음향의 적용 환경이 심해에서 천해로 옮겨오며 따라 심해에 비해 복잡한 천해의 음향학적 환경 파라미터 (음속 구조, 퇴적층 음속 및 퇴적층 밀도 등)에 대한 중요성이 증가하고 있다. 퇴적층 내 음향 파라미터에 대한 연구는 퇴적 샘플 시료를 분석함으로써 가능하다. 그러나 시료 채취와 같은 직접적인 방법은 시료 채취 비용과

시간이 많이 요구 된다. 또한 채취된 시료를 수중에서 분석할 수 없으므로, 분석시 오차가 발생한다는 단점이 있다. 최근 직접적인 방법의 단점을 보완하기 위해 수중 음향 신호를 사용해 퇴적층의 음향학적 특성을 간접적으로 추정하는 연구가 수행되고 있다. 일반적으로 수중음향 신호를 사용한 간접적 추정 방법은 동일한 지역에서 여러 번 수신된 신호와 과거 관측 자료를 통계적으로 분석해 지음향 특성을 추정한다. 따라서, 사용 음원, 수신 신호 및 통계 분석 방법에 따라 지음향 추정 결과가 다르며, 직접적인 방법에 의해 획득된 지음향 특성보다 다를 수 있다.

수신기로부터 획득된 신호와 음 전파 모델로부터 계산된 모의 음장과와의 상관성을 분석해 음원의 위치 정보 및 음향학적 해양 환경 파라미터를 역산하는 정합장 신호처리 (matched field signal processing)는 수중음향 신호를 사용하는 대표적인 간접적 방법이다. 정합장 신호처리는 1970년대 Hinich[1]에 의해 수직 선배열 수신기를 사용한 음원 위치 추정에 관한 연구 이후 많은 연구가 진행되었다[2-7]. 우리나라에서는 최근 한양대학교, 국방과학연구소 및 서울대학교가 공동으로 해상 실험 (Matched Acoustic Properties and Localization Experiment, MAPLE)을 통한 정합장 신호처리 기술 개발 연구를 진행하고 있다[8-10].

정합장 신호처리를 사용한 표적 위치 추정기의 경우 평면파 빔형성 (Plane wave beamforming process) 기법에 비하여 거리-수심 등 표적에 대한 많은 정보를 제공할 수 있다. 또한 환경파라미터 역산의 경우 직접적 측정 방법과 그 결과에 차이가 있을 수 있으나, 능-수동 수중음향 센서 운용에 필요한 정보를 효율적으로 제공할 수 있다[11]. 그러나 정합장 신호처리는 배열 수신기를 사용하고, 음파 전달 모델에 의해 계산된 모의 음장과와의 통계 상관성을 사용함으로써 평면파 빔형성 기법에 비해 신호처리 과정에서 처리되는 자료 및 모델 계산 량이 증가한다. 자료와 모델 계산 량의 증가는 제한된 연산속도를 갖는 시스템에서 정합장 신호처리의 효율을 낮추는 원인이 된다. 따라서 효과적인 정합장 신호처리를 위해 많은 자료를 신속하게 연산할 수 있는 신호처리 기법과 주어진 공간에서의 최적 해를 효율적으로 찾는 최적화 알고리즘이 요구된다.

최근 시스템의 연산속도 향상을 위해 병렬 시스템을 사용한 병렬 신호처리에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 병렬 처리를 위한 최적화 알고리즘에 대한 연구도 진행되고 있다.

본 연구에서는 기존 정합장 신호처리의 연산 속도에 대한 단점을 보완하기 위해 PC-클러스터 병렬 시스템과 병렬 유전 알고리즘을 사용하여 수중 운동체 위치 추정에 적합한 지음향 파라미터 역산 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 PC-클러스터 병렬 시스템과 병렬 유전 알고리즘에 대해 서술하며, 제 3, 4 장에서는 동해 해상실험 (MAPLE)에서 획득된 자료를 사용한 지음향 파라미터 역산 및 그 결과에 대해 설명한다. 그리고 마지막으로 제 5 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. PC-클러스터 병렬 시스템과 병렬 유전 알고리즘

2.1 PC-클러스터 병렬 시스템

수중음향에서 컴퓨터 기술의 발달과 신호처리 기술의 향상으로 배열 수신기에서 획득된 많은 량의 자료를 신속하게 처리할 수 있게 되었다. 그러나 지음향 파라미터 역산을 위해 충분한 시스템을 구성하기에는 많은 비용과 노력이 요구된다. 최근 시스템의 연산 속도와 메모리의 효율적 이용을 위해 병렬처리 (parallel processing) 기술이 사용되고 있다. 병렬처리란 여러 개의 프로세서에 자료와 연산 량을 분할하여 동시에 처리하도록 함으로써 시스템의 연산 속도를 향상시키는 기술이다[12]. 해결하고자 하는 문제에 병렬처리 기술을 적용하기 위해서는 다량의 프로세서들이 하나의 시스템으로 구성되어야 하며, 연산 과정을 소규모 독립 연산 과정으로 분할할 수 있어야 한다. 병렬 시스템은 고속 신호처리가 가능한 DSP 칩, VLSI와 같은 고밀도 집적회로와 PC-클러스터 기술을 사용해 구성하는 방법이 있다. DSP 칩과 VLSI에 의한 병렬 시스템은 성능은 우수하나 많은 비용이 요구되며, 기존에 개발된 모델과 프로그램을 다시 작성해야 하는 단점이 있다. 이에 반해 PC-클러스터 기술에 의해 구성된 병렬 시스템은 네트워크에 접속된 다수의 개인용 컴퓨터들을 통합하여 사용함으로써, 병렬 시스템 구성을 위한 별도의 비용이 필요 없으며, 부분 수정만으로도 기존에 개발된 모델과 프로그램을 구성된 병렬 시스템에서 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 개인용 컴퓨터들의 연산 속도 향상으로 인해 PC-클러스터 기술에 의해 구성된 병렬 시스템의 성능도 향상되고 있다.

PC-클러스터 병렬 시스템은 자료의 교환과 병렬 연산의 흐름을 제어하는 주 컴퓨터 (master computer)와 연산을 수행하는 종속 컴퓨터 (slave computer)로 구성되

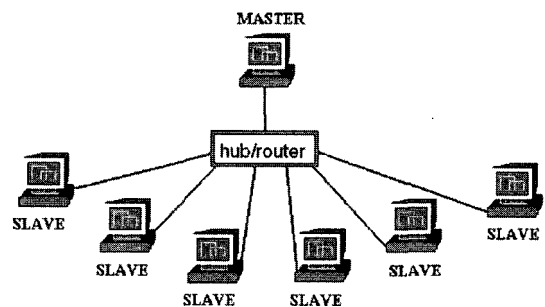


그림 1. PC-클러스터 기술에 의해 구성된 병렬 시스템 개요
Fig. 1. Configuration of parallel system with PC-cluster.

며, 주 컴퓨터와 종속 컴퓨터는 고속 네트워크 환경에 의해 연결된다. PC-클러스터 병렬 시스템의 성능은 자료 및 연산 량의 효율적 분할에 의존하며, 특히 구성된 네트워크의 자료 교환 속도에 큰 영향을 받는다. 따라서 PC-클러스터 병렬 시스템을 위한 병렬처리 알고리즘에는 자료 교환 및 연산 량의 효과적인 분할-제어-관리 프로그램과 병렬 연산 수행시 발생할 수 있는 네트워크 자료 교환 오류에 대한 위험 관리 프로그램이 포함되어야만 한다.

2.2 병렬 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 1975년 Holland에 의해 제안되었으며, 생물 진화의 원리를 확률적 탐색이나 최적화 탐색에 적용한 알고리즘이다. 유전 알고리즘에서 초기 설정된 여러 개체들은 선택, 교배 및 돌연변이 등과 같은 모의 진화 과정을 걸쳐 세대가 증가할수록 병렬적으로 진화하게 되며, 이 과정에서 각 개체들은 최적화된다. 이 방법은 신호, 화상처리, 시스템 제어, 신경회로망 설계 및 학습 등 여러 해가 존재하는 문제들에 적용되어 왔다.

정합장 신호처리를 사용한 지음향 파라미터 역산에 적용된 유전 알고리즘은 초기값에 대해 민감하지 않고 주어진 해 공간에 대한 전역 탐색(global search)이 가능하며, 목적 함수에 사용된 음파 전달 모델의 교체가 쉽다는 장점을 갖는다. 그러나 모뎀기반 역산 방법은 음파 전달 모델을 사용해 지음향 파라미터 변화에 따른 모의 음장을 계속적으로 계산해 주어야 하기 때문에 역산 속도가 느리고, 목적 함수와 탐색 전략에 매우 민감하며, 충분한 진화가 이루어지지 못할 경우 진화 세대가 증가할수록 각 개체들간의 유전 형질이 유사해져 전역 탐색 성능이 저하되어 결국 근사 최적 해에 수렴하는 단점을 갖는다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 혼합 유전 알고리즘(Hybrid Genetic Algorithm, HGA)과 다중 개체군 유전 알고리즘(Multi-Population Genetic Algorithm, MPGA)이 연구되고 있다[13-14]. 일반적으로 혼합 유전 알고리즘은 전역 탐색 성능이 우수한 유전 알고리즘과 지역 탐색 성능이 우수한 해 탐색 알고리즘을 혼합하여 사용하는 알고리즘으로 일반 유전 알고리즘에 비해 지역 탐색(local search) 성능이 우수하며, 다중 개체군 유전 알고리즘은 해 공간에 대한 효과적인 전역탐색이 수행되어 기존 유전 알고리즘에 비해 전역탐색 성능이 우수한 것으로 알려져 있다. 따라서 유일 해가 존재하는 해 공간 탐색의 경우 혼합 유전 알고리즘을 사용하는 것이 효

과적이며, 여러 유사해가 존재하는 해 공간 탐색의 경우에는 다중 개체군 유전 알고리즘이 효과적이다. 그러나 두 알고리즘 모두 일반 유전 알고리즘에 비해 각 개체의 적합도 평가 연산 수행 횟수가 급격하게 증가하는 단점이 있다. 따라서 두 알고리즘을 지음향 파라미터 역산에 적용할 경우 충분한 모의 진화세대가 보장되어야 하며, 지역과 전역 해 탐색이 효과적으로 이루어질 수 있도록 진화 전략을 수립해야 한다.

전역 해 탐색 성능이 우수한 유전 알고리즘의 하나인 다중 개체군 유전 알고리즘은 여러 개체군을 형성하여 개체들을 독립적으로 진화시키며, 일정 독립 진화 후 개체군간 일정 비율의 개체를 상호 교환한다. 이와 같은 과정은 진화 세대가 증가하여도 개체들의 유전적 다양성을 보장할 수 있기 때문에, 해 탐색 전 과정에서 초기 전역 탐색 성능을 유지할 수 있다.

다중 개체군 유전 알고리즘을 지음향 파라미터 역산에 적용할 경우 목적함수 구성을 위한 음파 전달 모델의 수행 횟수가 급격히 증가하여 역산 수행 시간을 증가시킨다. 따라서 역산 수행 시간 단축을 위해 병렬 유전 알고리즘이 요구된다. 유전 알고리즘의 병렬화는 병렬 시스템 구성에 따라 master-slave 방법과 network 방법으로 구분되며, 메모리 분배 방법과 노드(node) 컴퓨터가 담당하는 개체 크기에 따라 global, coarse-grained, fine-grained 병렬화로 구분된다. Coarse-grained, fine-grained 병렬화의 경우 주어진 전체 해 공간이 탐색 전략에 의해 세부 해 공간으로 분화되며, 분화된 세부 해 공간이 각 노드 컴퓨터에서 독립적으로 선택, 교배, 돌연변이 연산이 수행되고 그 최종 결과 산출된 우수 해들을 상호 비교하여 최적 해를 산출한다. 따라서 단일 파라미터로 구성된 해 탐색 문제의 경우 탐색 속도를 향상 시키며, 기억용량을 효과적으로 분산할 수 있다. 그러나 여러 파라미터가 복합적으로 구성된 해 탐색 문제의 경우 주어진 해 탐색 공간을 세분화 하기 어려우며,

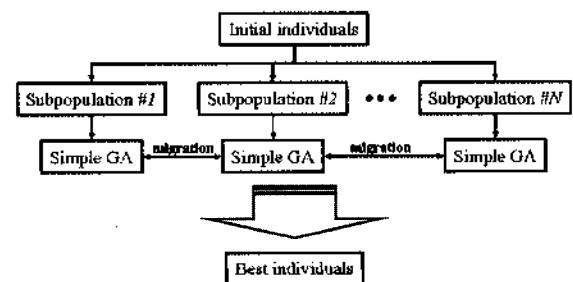


그림 2. 다중 개체군 유전 알고리즘 흐름도
Fig. 2. Flow diagram of the multi-population genetic algorithm (MPGA).

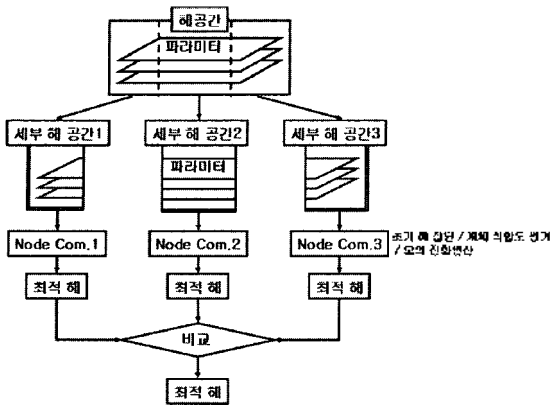


그림 3. Coarse-grained or fine-grained 병렬화 유전 알고리즘
Fig. 3. Flow diagram of the Coarse-grained or fine-grained parallel genetic algorithm.

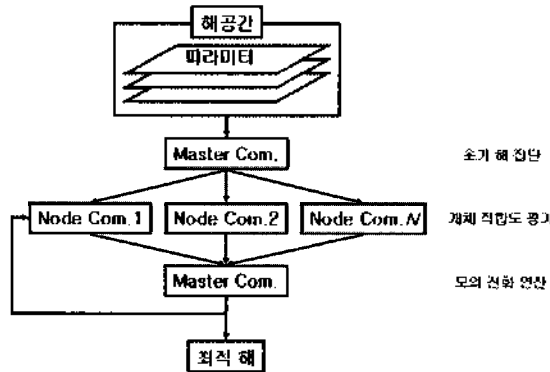


그림 4. Global 병렬화 유전 알고리즘
Fig. 4. Flow diagram of the global parallel genetic algorithm.

세분화된 해 공간에 대해 각 노드 컴퓨터에서 독립적으로 모의 진화가 수행되므로 여러 파라미터에 의해 복잡적으로 구성된 해 공간의 모든 구간에 대한 탐색이 불가능하다.

한편 Global 병렬화 기법의 경우 모의 진화는 주 컴퓨터 (master computer)에서 수행하며, 모의 진화를 위해 구성된 개체들에 대한 평가만을 종속 컴퓨터 (slave

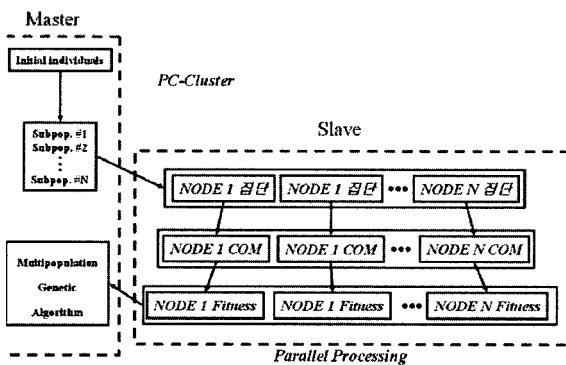


그림 5. 병렬 다중 개체군 유전 알고리즘 흐름도
Fig. 5. Flow diagram of the parallel multi-population genetic algorithm (PMPGA).

computer)에서 수행하여, 주어진 해 공간에 대한 세분화 없이 전역 탐색이 가능하고 해 탐색 속도도 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 큰 해 영역에 대한 정밀 해 추정이 가능한 실수코딩 다중 개체군 유전 알고리즘을 master-slave 방법과 global 병렬화 기법을 사용하여 병렬 유전 알고리즘으로 수정하여 지음향 파라미터를 역산하였다.

III. 해상실험 및 지음향 파라미터 역산

2004년 5월 동해항 부근 천해 해양 환경에서 정합장 처리 기술 개발을 위한 해양 환경 조사 및 음향 자료 수집을 목적으로 MAPLE04 해상 실험이 수행되었다. MAPLE04 해상 실험에서는 저주파 예인형 음원과 전구 음원이 사용되었다. 이번 해상 실험에서 사용된 전구 음원은 외국 연구 논문에서 제시한 전구 음원들의 단점을 보완하여 동일 수심에서 여러 전구 신호를 발생시킬 수 있는 회전식 전구 음원 장치를 개발하여 사용하였다[9]. 음원으로부터 방사된 송신 신호는 수직 선배열 수신기를 사용하여 수신하였으며, RF (radio frequency)를 사용해 실험선으로 전송하였다. 전송된 수신 신호는 디지털 레코더 (digital recorder)를 사용해 A/D 변환 후 저장하였다. 또한 실험 해역의 시-공간적 해양 환경 변화 관측을 위해 CTD와 XBT가 사용되었다. 그림 6은 수직 선배열 수신기에 의해 획득된 전구 신호이다. 전기 신호의 길이가 짧아 해수면과 해저면 다중 경로 도달 특성을 알 수 있다.

지음향 파라미터 역산에 사용된 전구 신호는 음원 수심과 수신기 사이 거리를 변화시키며 수신한 35개 신호

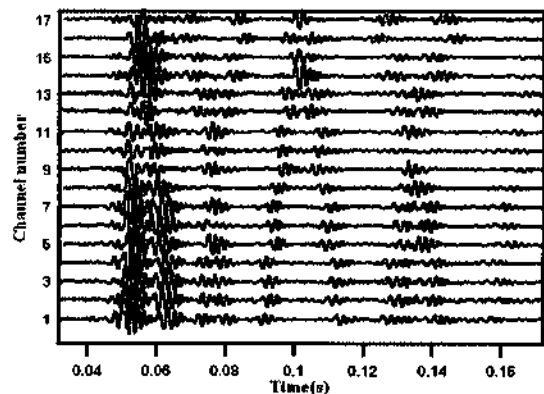


그림 6. 수직 선배열 수신기에서 수신된 전구 음원 신호
Fig. 6. Light bulb signal at VLA.

표 1. 전구 음원과 VLA 수신기 거리 변화에 따른 수신 신호 수(음원 수심: 약 50m)

Table 1. The number of received signals along various distances between light bulb source and VLA(source depth is about 50 m).

거리(km)	수신 신호 수
1.0	5
1.7	3
2.0	3

중 전구 음원 수심이 약 50m인 신호 11개를 사용하였다. 음원과 수신기 사이 거리에 따른 전구 신호 수는 표 1과 같다. 일반적으로 전구 신호의 주 공진 주파수와 최고 음원 준위는 음원 수심과 전구의 물리적 특성에 따라 변화한다. MAPE04 해상실험에 사용된 전구는 유리 벽의 두께가 $0.5 \pm 0.25\text{mm}$, 부피는 $125 \pm 25\text{ml}$ 의 100와트 전구이다. VLA 수신기에 수신된 전구 신호 특성 분석 결과 주파수 200~600Hz 대역을 갖는 광대역 저주파 음원 특성을 나타냄을 확인하였다.

지음향 파라미터 역산 연구를 수행하기 위해 수신신호를 13개 중심 주파수를 기준으로 비상관 주파수 분석을 수행하였다. 설정된 중심 주파수는 260~500Hz, 주파수 간격은 20Hz 이다. 지음향 역산 연구를 위해 가정된 수층 및 퇴적층 해양환경은 한국지질자원연구원 자료를 근거로 설정되었다. 그러나 관측된 자료와 같은 정밀도를 갖는 지음향 역산을 수행할 경우 역산 파라미터의 수가 증가하여 주어진 문제가 매우 복잡해지며, 해 탐색 공간과 역산 수행 시간이 급격히 증가하게 된다. 결국 모든 미지수에 대한 충분한 해 탐색이 수행되지 못할 경우 최적 해 추정에 실패하게 될 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 관측 자료를 기초로 수중 운동체 위치 추정을 위한 간단한 해양 환경 모델을 가정하였다. 그러므로 본 연구

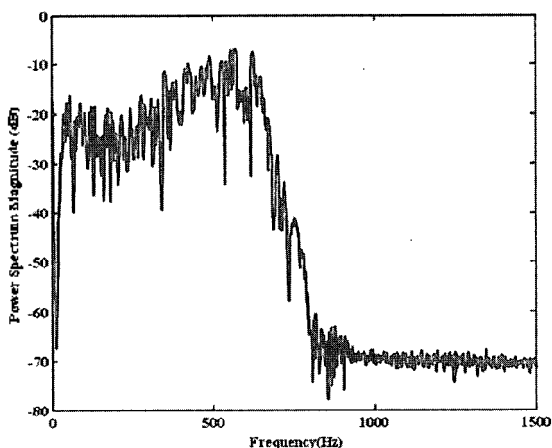


그림 7. 수직 선배열 수신기에 수신된 전구 음원의 파워스펙트럼
Fig. 7. Power spectrum of light bulb signal at VLA.

에서 역산된 결과와 관측 결과와는 차이를 나타낼 수 있다. 본 연구에서 가정된 해양 환경 모델은 수층 이후 제 1 퇴적층이 존재하며, 제 1 퇴적층 이후 음향 기반암이 존재하는 것으로 가정하였다. 역산 파라미터는 수심, 제 1 퇴적층의 상-하부 음속, 퇴적층 두께, 밀도 및 감쇠 등 8 개 파라미터 이다. 그러나 밀도와 감쇠에 의한 민감도가 작은 것으로 판단되어, 밀도와 감쇠의 탐색 영역을 축소시키는 방법을 사용해 밀도와 감쇠에 대한 해 탐색 능력은 축소시켰으며, 나머지 4개 파라미터에 대한 해 탐색 능력을 강화하였다.

전구 신호를 사용한 지음향 역산의 경우 예인형 음원을 사용한 역산과는 다르게 수신 신호로부터 연속적 거리 변화에 따른 음장 정보를 획득하기 어렵다. 따라서 연속적 거리에 따른 음장 변화를 사용하는 비용함수를 사용할 수 없게 된다. 이와 같은 문제는 고정된 송-수신기로부터 획득된 독립 신호를 사용한 지음향 역산 문제로 표현될 수 있다. 고정된 송-수신기 시스템을 사용한 지음향 역산의 경우 많은 신호를 획득한 후 각각의 신호에 대한 상관성을 이용하여 파라미터를 역산한다. 그러나 본 연구의 해상실험에서는 동일한 음원과 수신기 사이 거리와 수심에서 파라미터 역산을 위한 다량의 연속 신호를 획득 하지 못했다. 역산에 사용된 신호의 수가 현저하게 적을 경우 최적 파라미터를 역산하기 어려우며, 유사 파라미터의 수가 증가하게 된다. 또한 정합장 신호처리를 사용한 수중 운동체 위치 추정시 부엽준위 (sidelobe) 영향이 증가하여 정확한 수중 운동체의 위치를 추정하기 힘들다. 본 연구에서는 전구 신호로부터 획득된 신호 벡터와 음파 전달 모델에 의해 계산된 파라미터 변화에 따른 모의 음장 벡터를 주파수 비상관 Bartlett 프로세서를 사용하여 음원의 위치를 추정한 후 GPS 위치 정보와 상호 비교하는 비용함수를 사용했다.

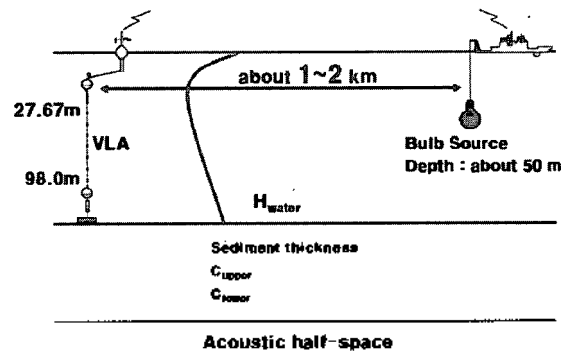


그림 8. 해상 실험 모식도 및 지음향 역산 파라미터
Fig. 8. Experimental set up and geoaoustic parameters.

$$E(r, d) = \arg \max_{r, d} \left(\frac{1}{N_f} \sum_f \left| \frac{w_{(r, d, f)}^T (F_f F_f^T) w_{(r, d, f)}}{w_{(r, d, f)}^T w_{(r, d, f)}} \right| \right) \quad (1)$$

$$C = \frac{1}{N_{ping}} \sum_{ping} \sqrt{(E_{ping}(r, d) - S_{ping}(r, d))^2} \quad (2)$$

여기서 $E(r, d)$ 는 수신 신호와 모의 음장에 의해 추정된 음원의 거리-수심 위치 정보를 나타내며, $S(r, d)$ 는 GPS 위성에 의한 관측된 음원 정보이다. $W(r, d, f)$ 는 거리 r , 수심 d , 주파수 f 에 대해 음파 전달 모델에 의해 계산된 모델 벡터이며, F 는 VLA 수신기에 수신된 신호 벡터이다. 본 연구에서는 모델 벡터 구성을 위해 천해 저주파 송신 신호 모의에 적합한 정상 모드 이론 음파 전달 모델을 사용하였다.

지음향 파라미터 역산의 병렬화를 위해 개인용 컴퓨터 3대로 구성된 PC-클러스터 병렬 시스템을 구성하였으며, 최적화 알고리즘은 주-종속 병렬 다중 개체군 유전 알고리즘 (Master-Slave Parallel Multi-Population Genetic Algorithm, MSPMPGA)을 사용하였다. PC-클러스터 병렬 시스템 구성을 위해 펜티엄4 2.4GHz의 중앙처리장치와 1 GB 주 메모리를 장착한 2대의 컴퓨터, 펜티엄3 700MHz 중앙처리장치와 512MB 주 메모리를 장착한 1대의 컴퓨터 등 총 3대의 개인용 컴퓨터와 스위칭 허브가 사용되었으며, 네트워크 전송 속도는 10Mbps이다. 또한 각 컴퓨터 상호간의 자료 교환 및 제어를 위해 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)를 사용한 MPI (Message Passing Interface) 방법을 수정하여 적용하였다. 일반적으로 MPI 방법은 네트워크 컴퓨터 간의 메시지를 효과적으로 전송하여 주어진 문제를 병렬 처리할 수 있으며, 컴퓨터 운영체제에 큰 제약을 받지 않는 장점이 있다.

최적 해 탐색을 위해 8개의 부 집단 (subpopulation)을 정의 하였으며, 각 부 집단에서 생성되는 개체 수는 20개로 정의 하였다. 또한 유전 형질의 다양성 보장을

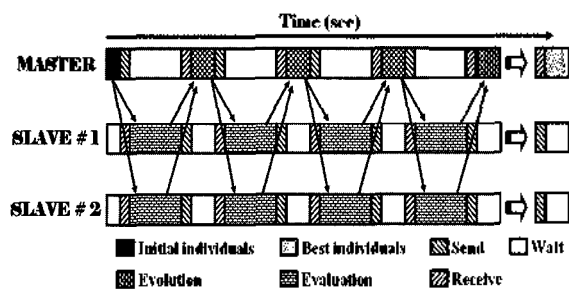


그림 9. MPI 방법을 적용한 자료 교환 흐름도
Fig. 9. Data flow diagram by Message Passing Interface (MPI).

표 2. 지음향 파라미터 역산 결과

Table 2. Results of the geoacoustic parameters inversion.

			Sound speed (m/s)	Density (g/cm ³)	Atten. (dB/wavelength)
Water depth(m)	121.41	Upper	1585.98	1.73	0.26
Thickness (m)	5.91	Lower	1565.30	1.74	0.28

위해 부 집단의 독립적 20 세대 진화 연산 수행 후 매번 상호 자료 교환 (migration)이 발생하도록 하였다. 그리고 총 진화 세대 수는 3000 세대로 제한하여 최적 해 탐색을 수행하였다. 모의 진화 연산에는 산술적 교배, 균등 돌연변이 그리고 토너먼트 연산자가 사용되었다.

IV. 지음향 파라미터 역산 결과

VLA 수신기와 전구 신호 및 병렬 다중 개체군 유전 알고리즘을 사용한 지음향 역산 결과 수심은 121.41m로 추정되었으며, 상부 퇴적층의 음속이 하부 퇴적층의 음속보다 큰 것으로 평가 되었다.

해 탐색 분석 결과 주어진 해 공간에 대한 전역 탐색이 수행되었음을 알 수 있었으나, 비용 함수 분포를 분석해 볼 때 수렴 구간이 여러 곳에 존재 함으로 유사 최적 해가 존재 함을 알 수 있다. 이와 같은 유사 최적 해의 존재는 선택된 우수 개체들의 교배에 의해 새로운 개체를 형성하는 유전 알고리즘의 유전 형질의 다양성을 낮추는 작용을 한다. 주어진 해 공간에서 여러 유사 최적 해가 존재한 것은 다음 세가지 경우에 가능할 것으로 생각된다. 첫째는 사용된 전구 신호로부터 음장을 정확하게 재현하지 못했을 경우이다. 전구 음원은 신호 길이가 짧아 음파 도파관 안에서의 다중 경로를 분리할 수 있으나, 수신 신호로부터 전구 신호를 추출하기 어렵다. 따라서 사용된 전구 신호 중 신호처리시 발생한 오류에 의해 음장을 정확하게 재현 하지 못했을 가능성이 있다. 둘째는 설정된 해 공간 특성에 대한 정보가 부족하여 주어진 문제에 적합한 해 공간을 설정하지 못했을 경우이다. 직접적 방법에 의해 관측된 지음향 정보와 수중음향 신호를 사용하여 역산된 지음향 결과는 차이를 나타낼 수 있다. 특히 본 연구와 같이 간단한 지음향 환경 모델을 적용할 경우는 큰 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 해 공간에 대한 선행 연구 정보를 획득하기 어렵다. 해 공

간에 대한 정보가 부족한 경우 광범위한 해 공간을 탐색해야 하며, 충분한 해 탐색이 수행되지 못했을 경우 최적 해 탐색에 실패하게 된다. 해 공간에 대한 선행 연구가 수행되면 해 공간 탐색 범위를 축소 시킬 수 있기 때문에 유사 해의 수를 줄일 수 있을 것이다. 셋째는 본 연구에서 적용된 비용 함수가 주어진 문제에 적합하지 않을 경우이다. 유전 알고리즘은 비용 함수에 의해 각 개체들을 평가함으로써 비용 함수가 주어진 문제에 적합하지 않을 경우 해 탐색을 실패하게 된다. 따라서 주어진 문제에 적합한 비용 함수에 대한 연구가 선행되어야 한다. 그러나 본 연구에서는 제안된 알고리즘에 대한 안정도 및 적합도 평가 연구가 수행되지 못해 다수의 유사 최적해가 존재하는 이유를 정확하게 판단할 수 없다.

병렬 처리에 대한 효율 분석 결과 펜티엄4 2.4GHz의 중앙처리장치와 1 GB 주 메모리를 장착한 개인용 컴퓨터로 일괄처리 역산 수행을 할 경우에 비해 약 1.7배 연산 속도가 증가하는 것으로 확인되었으며, 동일한 해 공간에 대한 최적 해 탐색결과가 크게 다르지 않음을 확인하였다. 이와 같은 결과는 유전 연산에 사용된 주 컴퓨터에서는 개체에 대한 적합도 평가가 수행되지 않고 2대의 중속 컴퓨터에서만 적합도 평가가 수행되었기 때문이며, 각 중속 컴퓨터에서 수행된 적합도 평가 연산 시간이 차이를 나타내어 주 컴퓨터에서 시간 지연 현상이 발생했기 때문이라 생각된다. 각 컴퓨터 상호간의 자료 교환에 대한 시간 지연 현상은 교환되는 자료의 양을 최소화 하였기 때문에 큰 영향을 주지 않는 것으로 평가되었다.

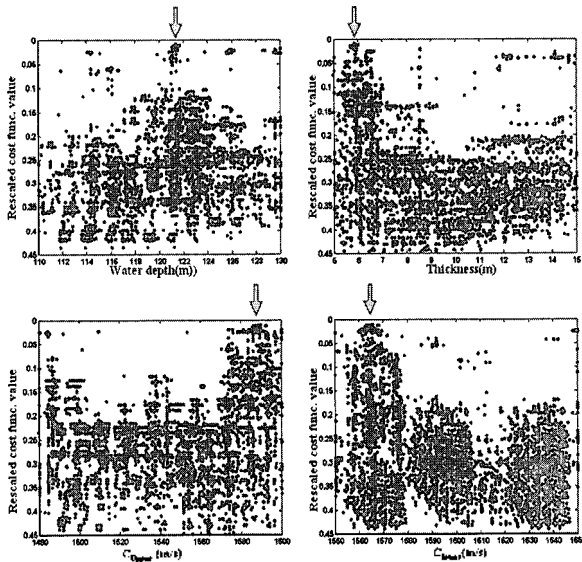


그림 10. 지음향 파라미터 변화에 따른 비용 함수
 Fig. 10. Scatter plots of the cost function values with geoaoustic parameters.

V. 결론

본 논문은 지음향 역산에 적용된 기존 유전 알고리즘의 해 탐색 수행 속도를 향상 시키고, 유전 형질의 다양성이 낮아지는 문제를 해결하기 위해 병렬 다중 개체군 유전 알고리즘을 제안하였다. 연구 결과 제안된 알고리즘은 일반적인 일괄처리 알고리즘에 비해 약 1.7배의 연산 수행 속도 향상 효과가 있는 것으로 확인되었다. 또한 전 세대에 걸친 모의 진화 연산 과정에서 유전 형질의 다양성을 보장할 수 있는 것으로 판단되었다. 그러나 본 연구에서 병렬 처리를 위해 사용된 컴퓨터의 수가 적어 연산 수행 속도 향상 효과가 현저하게 증가하지 않았다. 이 때문에 유전 알고리즘의 해 탐색 전략 파라미터와 병렬 처리에 의한 연산 속도 평가에 대한 다양한 연구를 수행되지 못했다.

지음향 파라미터의 효과적인 역산을 위해 차후 해 공간에 대한 연구와 비용 함수에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 생각되며, 수신된 전구 신호로부터 정확한 음장 정보를 재현할 수 있는 신호처리 기법에 대한 연구도 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 해상실험에 도움을 주신 국방과학연구소(제2체계) 여러분들께 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Melvin J. Hinich, "Maximum-likelihood signal processing for a vertical array," J. Acoust. Soc. Am., 57, 499~503, 1972.
2. A. B. Baggeroer, W. A. Kuperman and Henrik Schmidt, "Matched field processing: Source localization in correlated noise as an optimum parameter estimation problem," J. Acoust. Soc. Am., 83, 571~587, 1988.
3. Aaron M. Thode, "Source ranging with minimal environmental information using a virtual receiver and waveguide invariant theory," J. Acoust. Soc. Am., 108, 1582~1594, 2000.
4. Woojae Seong and Sung-Hoon Byun, "Robust Matched Field-Processing Algorithm Based on Feature Extraction," J. IEEE. Oceanic Eng., 27, 642~652, 2002.

5. H. C. Song, J. de Rosny and W. A. Kuperman, "Improvement in matched field processing using the CLEAN algorithm," J. Acoust. Soc. Am., **113**, 1379~1386, 2003.
6. Michael Nicholas, John S. Perkins, Gregory J. Orris, and Laurie T. Fialkowski and Garry J. Heard, "Environmental inversion and matched-field tracking with a surface ship and an L-shaped receiver array," J. Acoust. Soc. Am., **116**, 2891~2901, 2004.
7. Kyungseop Kim, Woojae Seong and Heechun Song, "Matched Field Processing: Ocean Experimental Data Analysis Using Feature Extraction Method," J. Acoust. Soc. Korea, Vol. 24, pp. 21~27, 2005.
8. 김성일, 김영규, 방정수, 도경철, 나정열, 오택환, 성우제, 박철수 외 19 명, "MAPLE(Matched Acoustic Properties and Localization Experiment)," 한국음향학회 학술대회 논문집, **23 (2)**, 377~380, 2004.
9. 오택환, 김영신, 나정열, 오산택, 전호경, 이창원, 김성일, 박철수, "지구 음원 특성 분석과 지음향 파라미터 역산," 한국음향학회 학술대회 논문집, **23 (2)**, 381~384, 2004.
10. 김경섭, 박철수, 성우제, "협대역 신호를 이용한 천해환경 지음향 역산 및 정합장처리," 한국음향학회 학술대회 논문집, **23 (2)**, 385~388, 2004.
11. Kevin D. Heaney and Henry Cox, "Impact of Littoral Environmental Variability on Acoustic Predictions and Sonar Performance: Rapid geoacoustic characterization for limiting Environmental uncertainty for sonar system performance prediction," Kluwer Academic Publishers, 163~170, 2002.
12. D.C. Schmidt and T. Suda, "Measuring the Performance of Parallel Message-based Process Architectures," Proceedings of the Conference on Computer Communications (INFOCOM), 624-633, 1995
13. Keith E. Mathias, L. Darell Whitley, Christof Stork and Tony Kusuma, "Staged Hybrid Genetic Search for Seismic Data Imaging," Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, 1, 356~361, 1994.
14. 차성민, 권기호, "다중 개체군 유전자 알고리즘의 새로운 아주 방식," 정보과학회논문지, **28**, 26~30, 2001.

• 나 정 열 (Jungyul Na)

한국음향학회지 제21권 5호 참조

• 이 성 옥 (Seongwook Lee)

한국음향학회지 제21권 8호 참조

• 김 성 일 (Seongil Kim)

한국음향학회지 제23권 4호 참조

• 박 정 수 (Joung-Soo Park)

한국음향학회지 제23권 4호 참조

저자 약력

• 오 택 환 (Taekhwan Oh)



2000년 2월: 한양대학교 지구해양학과(이학사)
 2000년 3월~2002년 2월: 한양대학교 지구해양학과 대학원(이학석사)
 2002년 3월~현재: 한양대학교 지구해양학과 대학원 박사수로
 ※주관심분야: 수중음향 병렬 신호처리, 정합장 처리, 해양 음원토모그래피, 수중 통신