

# 보간법을 이용한 무인잠수정 3차원 운동의 효율적인 가시화 기법

이희숙\* · 전봉환\* · 김기훈\* · 김상봉\*\*

\*한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양탐사장비연구사업단

\*\*부경대학교 기계공학과

## An Efficient 3D Visualization Method of AUV Motion Using Interpolation of Position Data

Hee-Suk Lee\*, Bong-Huan Jun\*, Kihun Kim\* AND Sang-Bong Kim\*\*

\*Ocean Exploration System Research Division, MOERI-KORDI, Daejeon, Korea

\*\*Pukyong National University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Graphic Simulation 그래픽 시뮬레이션, Interpolation 보간법, AUV 자율무인잠수정, 3D Visualization, DirectX 다이렉트 익스

**ABSTRACT:** With the increasing requirements for the survey and development of the ocean, the demands on the of AUV(Autonomous Underwater Vehicle) technologies have been increased. Reconstruction and replay of the AUV motion on the basis of the data stored during the execution of mission, can help the development of control strategies for AUVs such as mission planning and control algorithms. While an AUV cruises for her mission, her attitude and position data are is recorded. The data can be used for visualization of the motion in off-line. However, because most of the position data gathered from acoustic sensors have long time-interval and include intermittent faulty signal, the replayed motion by the graphic simulator can not demonstrate the motion as a smooth movie. In this paper, interpolation methods are surveyed to reconstruct the AUV position data. Then, an efficient 3D visualization method for AUV motion using the interpolation method is proposed. Simulation results are also included to verify the proposed method.

### 1. 서 론

심해 잠수정은 심해저 자원탐사 등 과학목적 이외에 해저 구조물 유지보수와 같은 상업목적에도 사용되고 있다. 해양과학기술 선진국들은 일찍이 심해 잠수정 개발의 중요성을 인식하고 기술 개발을 하고 있고 뒤이어 우리나라도 독자적인 기술 개발을 추진해 오고 있다.

AUV(Autonomous Underwater Vehicle)가 항해하는 동안 자신의 위치데이터를 기록하게 되는데 이때 센서들의 종류와 특성에 의하여 저장할 수 있는 데이터량이 크게 좌우된다. LBL이나 USBL과 같은 초음파 센서를 쓰는 경우 AUV의 위치는 수초에 한번에서 1초에 수회 정도 저장이 가능하다. 뿐만 아니라 음파 센서는 외부환경 잡음에 따라 데이터를 잃어버리거나 잘못된 데이터를 주기도 한다. 이러한 위치데이터들로 visualization하게 될 경우 주기가 길고 연속되지 않은 데이터로 인하여 매끄럽지 않은 영상을 보게 될 수 있다.

또한 그래픽 시뮬레이션에서 '실시간 가시화'가 이루어지기 위해서는 FPS(Frame Per Second: 1초 동안 화면이 다시 그려지는 횟수)가 일정 정도 이상이 되어야 한다. 영화는 24 FPS이고

TV가 30 FPS이므로 이정도 FPS이면 매우 부드러운 화면을 볼 수 있고, 60 FPS 정도가 사람 눈이 차이를 느낄 수 있는 최고치라고 한다. 매우 빠르고 부드럽게 움직이는 게임이 60 FPS 정도를 목표로 하고, 이 이상의 FPS는 가시화 측면에서는 큰 의미가 없다고 한다. 그러나 모든 그래픽 하드웨어는 단위시간 동안 처리할 수 있는 삼각형의 수에 한계가 있으므로 삼각형이 많아지면 속도가 저하되어 실시간 가시화가 불가능한 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 첫 번째 방법은 더 빠르고 더 성능이 좋은 컴퓨터와 그래픽 카드를 구입하는 것이다. 하드웨어의 발전 속도는 사람이 따라잡기 힘들만큼 빠른 속도로 발전해 가고 있으므로 더 좋은 컴퓨터와 그래픽 카드가 나올 때까지 기다릴 수도 있다. 하지만 사람들의 기대는 하드웨어의 성능의 비약적인 발전보다 더 빠르게 높아져 왔다. 사람들의 요구는 끝없이 증가하기 때문에 그 욕구를 다 충족시킬 수 있기 위해 더 효율적으로 가시화를 수행할 수 있는 방법에 대한 연구가 많이 수행되고 있다.

본문에서는 효과적인 가시화를 위하여 보간법을 적용하였다. AUV 데이터에 각각의 보간법을 적용하여 비교분석하고, 적절한 보간법을 선택하여 데이터를 복원하였다. 충분치 않은 데이터만으로도 AUV의 운동을 컴퓨터 그래픽으로 효과적으로 Visualization할 수 있도록 AUV 위치데이터들을 복원하여 부드럽게 가시화하는 기법을 제안한다.

이희숙: 대전광역시 유성구 장동 171번지 한국해양연구원

042-868-7504 heedong82@moeri.re.kr

그래픽 시뮬레이션의 기본 하드웨어 환경은 DualCore Intel Pentium D 930, 3000 MHz, NVIDIA GeForce 6600 GT (128MB)이고 소프트웨어 환경은 비주얼 스튜디오, Visual C++ 6.0 MFC, DirectX 9.0c이다.

그래픽 시뮬레이션에 활용한 이심미 (ISiMI, Integrated Submergible Intelligent Mission Implementation)는 한국해양연구원 해양탐사장비연구사업단에 새로이 개발한 항주형 소형 AUV이다(총 길이 1.2m, 최대지름이 170mm). 또한 수조의 모습은 한국해양연구원의 길이 56m, 너비 30m, 깊이 4.5m 규모의 해양공학수조를 축소한 것이다. 이심미에 관한 자세한 사항들은 참고문헌과 같다(전봉환 등, 2006).

## 2. 잠수정 위치 데이터의 보간

### 2.1 컴퓨터에서의 그래프

컴퓨터에서 수학적인 그래프를 표현하는 것은 근사와 관련이 있다. 점으로 연결하거나 선으로 연결하는 방법은 구간 내에서 함수가 선형으로 근사하는 것을 가정하고 있다. 컴퓨터는 곡선이라는 개념을 알지 못하여 어떤 함수를 주고, 여기에 연속되는 x 값을 넣어주면 그에 대응되는 y 값이 나오는 이산적인 표현만 가능하다. 따라서 좀 더 부드러운 형태의 그래프를 그리기 위해서는 점의 수를 늘리거나 연결하는 선의 간격을 작게 해야 한다. 이러한 점들이 촘촘히 모여 있는 집합을 곡선이라 할 수 있다.

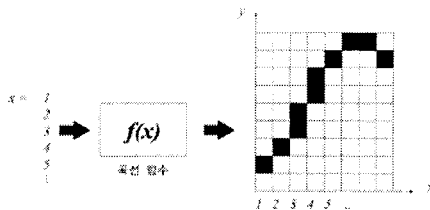


Fig 1. 컴퓨터에서 곡선을 표현하는 방법

### 2.2 보간법의 비교

#### 2.2.1 다항식 보간법

실수를 실수로 보내는 함수의 집합 가운데서 가장 유용하고 알려진 것 중의 하나가 대수다항식(algebraic polynomial)들의 집합이다. 대수다항식은 음 아닌 정수  $n$ , 실수인 상수  $a_0, \dots, a_n$ 에 대하여

$$F(x) = P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0 \quad (1)$$

로 표시된다. 다항식 보간법의 종류에는 Lagrange 보간 다항식, Newton 보간 다항식 등이 있다.

다항식 보간법의 단점은 첫째, 기복이 심한 데이터를 갖는 경우 그 부분에 대한 정확한 보간 다항식을 구하기가 본질적으로 어렵다는 것이다. 둘째, 직선데이터는 전 구간에서 일차식으로 표시되어야 하나 노이즈가 첨가된 경우에는

직선에서 벗어나는 일부 데이터를 지나기 위해 고차 보간 다항식이 요구된다. 그로 인해 나머지 직선 부분에서 큰 오차가 유발되며, 특히 보간 구간의 양 단에서 상당한 오차가 발생한다. 셋째, Runge 함수와 같은 특수한 함수에 대해서는 보간 다항식의 차수를 증가할수록 더욱 진동이 심한 보간 결과를 얻는다.

#### 2.2.2 부분구간근사 다항식

고차 다항식의 진동 성질과 구간의 한 부분에서의 파동이 전체 영역에 걸쳐서 큰 파동을 일으킨다는 사실은 다항식의 이용을 제한한다. 대안은 주어진 구간을 부분구간들의 모임으로 나누고 각 부분구간에 대한 근사다항식을 만드는 것이다. 이와 같은 근사방법을 부분구간근사 다항식(piecewise polynomial approximation)이라 한다.

$$\{(x_0, f(x_0)), (x_1, f(x_1)), \dots, (x_n, f(x_n))\} \quad (2)$$

가장 간단한 부분구간근사 다항식은 자료점들의 집합을 연속적인 직선의 부분으로 연결하는 부분구간 선형보간법이다. 가장 일반적인 부분구간근사 다항식은 연속하는 한 쌍의 점들 사이에 3차 다항식을 사용하는데, 이를 3차 스플라인 보간법(cubic spline interpolation)이라 한다. 일반적인 3차 다항식은 네 개의 상수를 포함한다. 따라서 보간자(interpolant)가 구간에서 연속미분이고 또 2계미분이 연속이 되도록 하는 3차 스플라인 작업 과정에는 충분한 융통성이 있다. 3차 스플라인 보간법은 고차 다항식으로 표현하는 것보다 못하지만 고차다항식에서는 급격히 변화하는 부분의 근방에서 격렬하게 진동을 하는 경우가 있다. 반면에 3차 스플라인은 점들을 연결한 곡선이 3차 곡선으로 제한되어 있기 때문에 진동을 최소화한다.

## 3. 보간법을 적용한 가시화 기법

### 3.1 수치 시뮬레이션

모든 그래프에서 실제데이터들은 점으로, 보간한 점들은 선으로 표현하였다. Fig 2에서는 AUV에서 저장된 불연속 데이터들을 플로팅한 것이다. 이 데이터들로 각각 직선으로 표현(Fig 3)하고 다항식 보간을 적용(Fig 4)해 보았다. 보간이 전혀 없이 직선으로 표현하였을 경우 AUV가 방향을 전환할 때 x, y의 급격한 변화가 이루어짐을 알 수 있다. 이는 AUV의 실제 항주에 있어서도 힘든 경로일 뿐만 아니라 그래픽 시뮬레이션에서도 유연하지 못하고 화면이 끊겨 보이는 현상이 나타나게 된다. Fig 4는 다항식 보간을 적용한 것이다. AUV의 방향전환으로 인하여 x, y에 큰 변화가 생겼을 경우 그 부분에서 진동이 생기는 것을 볼 수 있다. 이는 실제 주행과는 다른 불필요한 경로를 생성할뿐더러 그래픽 시뮬레이션에서도 확대하였을 경우, 속도를 늦추었을 경우에 실제 주행과는 다른 모습을 볼 수 있는 것이다.

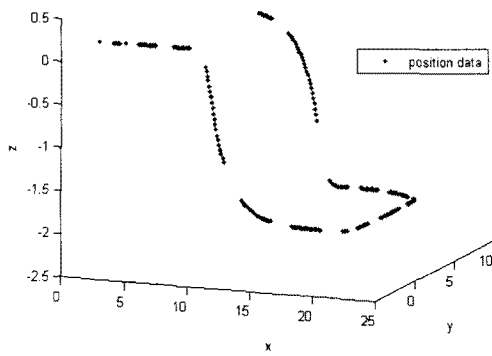


Fig 2. 불연속된 AUV의 위치데이터

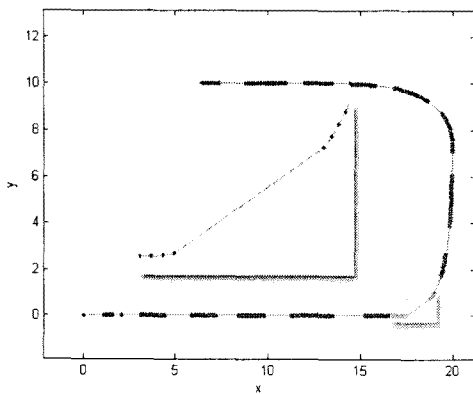


Fig 3. 위치데이터 x, y straight line

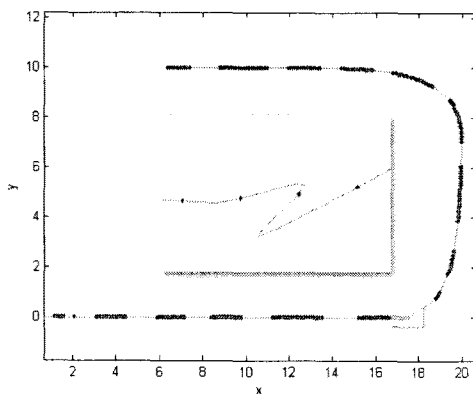


Fig 4. 위치데이터 x, y 다항식보간

Fig 5는 AUV가 하강할 때의 위치데이터를 polynomial 보간한 시뮬레이션 그래프의 일부분이다. 그래프에서도 볼 수 있듯이 Fig 4와 마찬가지로 급격히 변화하는 부분의 근방에서 진동이 있음을 볼 수 있다.

Fig 6은 3차 스플라인 보간을 이용한 잠수정의 하강시 위치데이터들의 그래프이다. 급격한 변화부분에서의 진동이 없음을 확인할 수 있다.

Fig 7은 위치 x, y 데이터를 cubic spline interpolation한 것이다. Fig 6까지 적용된 보간법에 비하여 실제에 가까운 유연한 곡선을 보임을 알 수 있다. 보간 간격을 어떻게 하느냐에 따라서 좀 더 부드럽고 실제에 가까운 곡선을 얻을 수도 있다. Fig 10도

같은 보간법을 이용하여 위치데이터 x, y, z 모두를 보간하였다. 기존의 데이터에 비하여 유연한 곡선을 만들어 주는 것을 확인할 수 있다.

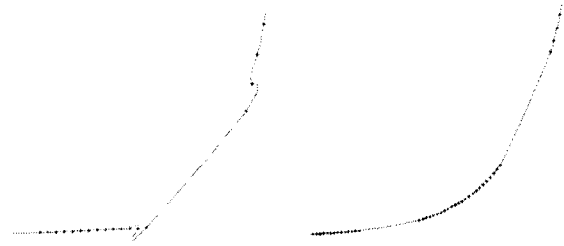


Fig 5. 다항식 보간

Fig 6. 3차스플라인 보간

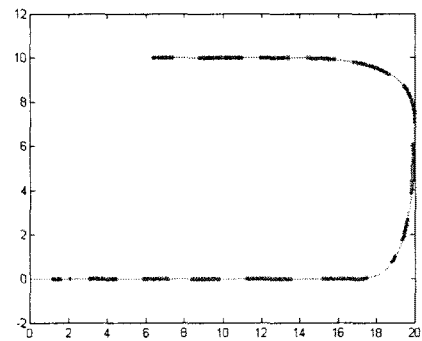


Fig 7 위치데이터 x, y interpolation

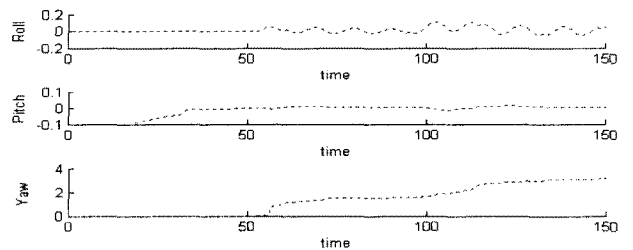


Fig 8. Roll, Pitch, Yaw 실제 데이터

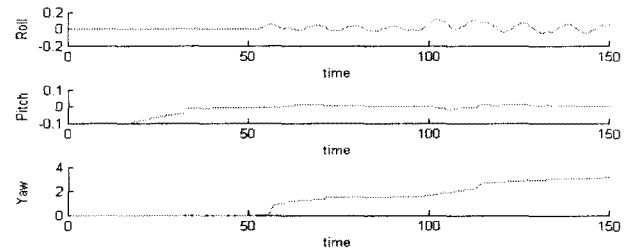


Fig 9. Roll, Pitch Yaw 보간 데이터

Fig 9는 AUV의 회전각 Roll, Pitch, Yaw에 대한 값들도 앞서 보간된 마찬가지로의 방법으로 보간하였다. 그래픽 시뮬레이션에서 보았을 경우 일반화면에서는 AUV의 회전각의 미세한 변화를 크게 느끼지는 못한다. 그러나 AUV의 주행모습을 확대하여 보았을 경우 AUV 자체 움직임의 변화가 확연히 차이가 남을 볼 수 있다.

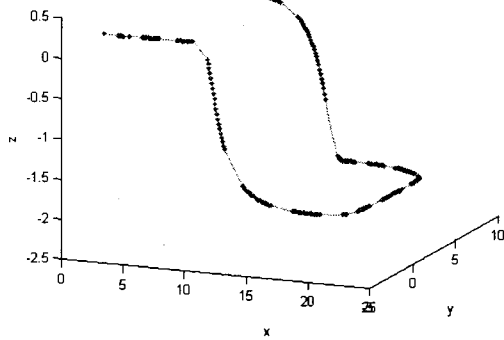


Fig 10. 위치데이터 x,y,z interpolation

### 3.2 3D Visualization

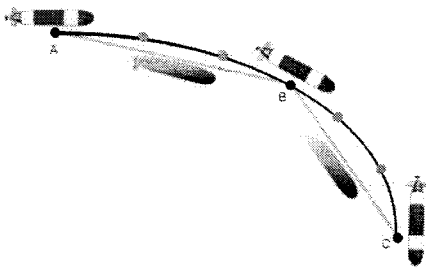


Fig 11. 선형보간 · cubic spline보간

Fig 11은 선형보간을 했을 경우와 Cubic spline interpolation을 했을 경우 실제로 확인 가능한 AUV의 운행모습을 도식화한 것이다. 같은 세 지점 A, B, C를 지남에도 불구하고 보간을 어떻게 하느냐에 따라서 혹은 하지 않느냐에 따라 가시화에 차이가 있음을 확인 할 수 있다. 스플라인 보간을 한 것은 실제 AUV의 운행모습과 유사한 모습을 보인다.

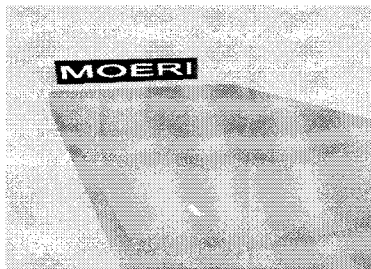


Fig 12. Graphic Simulation of AUV

Fig 12-13은 AUV 그래픽 시뮬레이션을 실행한 모습이다. 불연속적인 데이터들로 실행하였을 경우와 보간된 데이터로 실행하였을 경우를 비교하여 실행해 보았다. 위치데이터가 충분치 않을 경우의 실행시 Fig 3의 그래프와 유사한 모습을 볼 수 있었다. x 혹은 y에서의 데이터값이 급격한 변화가 있을 경우 정지화면을 연속적으로 보는 듯한 모습이 확인 가능하였다. Cubic Spline Interpolation을 적용하여 실행시에는 불연속 데이터값들

로 인하여 끊겨보이는 현상을 줄일 수 있었고, 차이가 비슷해 보이는 실행화면에서라도 실제 확대해 봤을 경우에는 그 차이가 뚜렷함을 알 수 있었다.

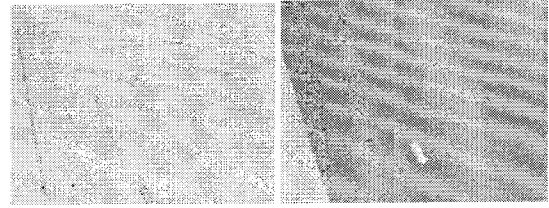


Fig 13. 시뮬레이션 실행모습

## 4. 결론

이 논문에서는 AUV의 항해하는 동안에 저장되는 자신의 위치데이터들을 전송하는 과정에서의 데이터 소실 혹은 잠수정 내의 센서의 종류와 특성으로 인한 데이터 저장의 한계문제를 처리하고 효과적인 3D 가시화를 위한 방법을 알아보았다. 선형보간, 다항식 보간을 이용한 데이터 보간은 오차를 발생시키고 급격한 변화의 구간에서는 진동이 있음을 볼 수 있으나 Cubic spline interpolation은 보간된 데이터들을 이용하여 진동과 오차를 줄여 AUV의 유연한 운동모습을 재현할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 해양연구원 기본연구사업 "U-기반 탐사선단의 스마트 운용기술개발"과제와 해양수산부의 지원으로 수행된 "차세대 심해무인잠수정 개발" 과제의 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 안윤애, 박정석, 류근호(2004). "3차 스플라인 보간법을 이용한 이동 객체의 위치 추정", 정보과학회논문지, 제31권, 제5호.
- 오규현(2001). "심해 무인 잠수정의 호밍과 도킹을 위한 제어기법 연구", 한국과학기술원.
- 유해영, 이준신, 고영주, 심홍태 (1999). "수치해석 제 6판", 사이텍미디어.
- 전봉환, 박진영, 이판목, 이필엽, 이종무, 오준호 (2006). "소형 무인잠수정(AUV) 이심이의 개발 및 시험", 한국해양공학회 추계학술대회.
- 정상권, 이승래, 권옥현(2004). "CEMTool을 활용한 수치해석", 인터넷 공개강좌, <http://www.cemworld.com>.
- 정성준(2002). "그래픽 라이브러리 'DirectX'를 이용한 가려지는 물체 제거 기법에 관한 연구", 서울대학교.
- Lee, E. T. Y.(1989). "Choosing nodes in parametric curve interpolation", Computer Aided Design, Vol 6, pp 363-370.