

지형자료와 위성영상을 이용한 3차원 비행 시뮬레이터 개발

Three Dimensional Flight Simulator of Terrain Using Satellite Image and Elevation Data

최경호, 정인숙, 조성익, 양영규, 이종훈
K.H. Choi, I.S. Jung, S.I. Cho, Y.K. Yang, J.H. Lee

시스템공학연구소 인공지능연구부
Systems Engineering Research Institute

요 약

본 논문에서는 자연지형의 3차원 투사도 제작기술에 비행기의 비행조건을 고려하여 개발한 비행 시뮬레이터에 대하여 설명하고자 한다. 여기서 발표하고자 하는 비행 시뮬레이터란 3차원의 자연지형을 마치 비행기를 타고가며 보는 것과 같은 효과를 낼 수 있게 하는 시스템을 말한다. 본 시스템은 사용자의 편의성을 도모하기 위하여 Sun workstation (SPARC 10)상에서 X11R5와 Motif 그리고 C 언어를 이용하여 개발되었으며, 사용자가 비행경로, 비행속도, 비행고도 등의 비행 파라메타들을 마우스를 이용하여 손쉽게 입력할 수 있도록 구성되어 있다.

1. 서론

일반적으로 컴퓨터 그래픽 기술에 의해 자연지형을 3차원으로 구현하기 위해서는 렌더 프렉탈 기하학과 정교한 유클리드 기하학을 이용한 모델링 방법이 많이 이용되어 왔다[1]. 그러나 불규칙하고 광범위한 자연지형을 실감 있게 표현할 수 있는 효과적인 알고리즘 개발이 현재로서는 만족할 만한 수준에 이르지 못하고 있다.

본 연구에서는 공간의 일정 지점에서 관찰자가 자연지형을 관찰하는 효과를 가져오게 되는 3차원 투사도의 원리를 이용하여 항공기나 위성을 통하여 수집된 2차원 배열의 위성 혹은 항공사진의 영상 데이터와 이와 대응되는 고도자료를 중첩하여 3차원 자연지형을 그대로 구현하였다[2]. Color 영상의 경우 연속성 있는 color 표현을 위해 주위의 4점에 의하여 구성되는 color interpolation 하였다. 또한 비행속도, 비행기의 고도, 비행 경로, 영상 촬영 시간 간격, 비행기에서 내려다보는 각도, 비행기가 수평상태로부터 기울어진 각도 등의 다양한 비행 파라메타들을 사용자가 손쉽게 입력하여 3차원 지형에 관한 모의 비행을 prototype할 수 있는 비행 시뮬레이터를 개발하였다. 따라서 원격탐사된 자연지형의 3차원 구현에 의하여 지리적, 정치적 접근 불가지역의 자연지형을

비행 시뮬레이션을 통하여 실감 있게 접근할 수 있으며 실제 비행에 따른 위험성과 경제적 문제를 해결하고 위성영상상의 분석 및 정보수집 과정에 많은 도움이 되리라 기대된다[3].

2. 연구의 내용

(1) 지형의 3차원 투사도 제작

3차원 투사도를 제작하기 위해서는 주체로서의 관찰자와 객체로서의 자연 지형과의 관계를 설명하는 매개변수 설정작업과 세계좌표상의 물체를 화면상에 투사를 위한 좌표 변환 작업이 필요하다. 지형자료와 위성영상을 중첩한 3차원 투사도의 제작에 사용한 매개변수는 그림 1에서와 같이 Reference Point (X,Y,Z), 관찰자의 위치 (p, θ, ϕ) , 투영면의 회전각 (δ) 외에 관찰자로부터 투영면까지의 거리, 절단할 거리, 고도의 강조 비율 등을 들 수 있다.

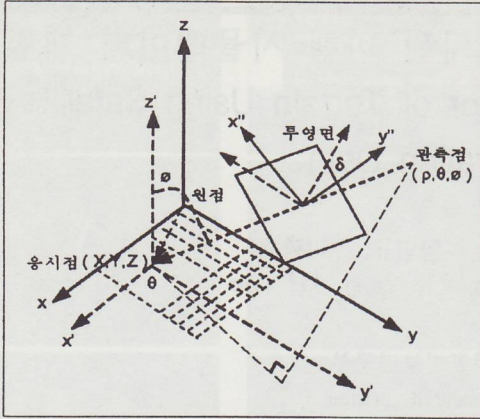


그림 1. 삼차원 투사도 매개변수

- **reference point(X,Y,Z)** : 대상 물체를 볼 때 관찰자의 시선이 향하는 위치를 의미한다. 이 좌표는 대상 물체 원점 좌표로부터의 상대적인 위치로서 정의되며 (X,Y,Z) 축 상의 위치가 된다. 이 위치를 변동하면 관찰자가 자기의 위치는 변하지 않고 고개를 돌려서 다른 부분을 보는 것과 같은 효과를 내게 된다.
- **관찰자의 위치 (p,θ,φ)** : 대상 물체로부터 얼마나 떨어진 위치에서 보는가를 정의하는 변수이다.
- **투영면의 거리 및 회전각(δ), 절단할 거리** : 관찰을 할 때의 screen의 위치나 상태를 나타낸다. 카메라에서 필름과 렌즈와의 사이의 거리인 초점거리, 카메라의 회전각도 등으로 생각할 수 있다. δ는 투영면의 회전각을 나타내며, 사진기를 좌우 방향으로 회전하는 경우를 나타낸다. Flight simulation의 경우에는 비행기가 좌우로 기울어지는 각도를 나타낸다.
- **고도의 강조 비율** : 지형의 고도를 인위적으로 높이거나 낮추고자 할 때 고도에 일정수를 곱할 수 있도록 하여 고도감을 조절하기 위하여 사용한다.

좌표변환을 위해서는 먼저 대상 물체의 좌표를 정의할 원점이 정의되어 있어야 한다. 지형자료를 투영하는 경우는 대상 물체가 2차원의 image file로서 존재하므로 원점을 간단히 정의할 수 있으며 보통 image file의 좌상단을 원점으로 한다. Reference point의 좌표는 원점으로부터 정의되는 것이 편리하며, 관측자의 위치는 reference point로부터 정의되는 것이 편리하고, 투영면의 거리 및 회전각, 절단면의 거리는 관측자의 위치로부터 정의되는 것이 편리하다. 회전, 이동, 투영등은 모두 다 선형 변환이므로 각각의 변환요소로 나누어 정의하고 계산할 수 있다.

좌표변환을 한 결과는 관측자가 눈을 reference point로 향하면서 대상 물체를 볼 때 눈으로부터 시선을 따라 일

정한 거리에 있는 투영면에 대상 물체의 상(image)이 맺히게 되어야 한다는 원리에 따르게 된다. 따라서 관측자의 위치에서 갖게 되는 좌표체계는 Z축이 reference point를 향하여 있고 X와 Y축이 관측자의 위치에 있게 되는 왼손좌표계가 되게 된다.

좌표변환을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

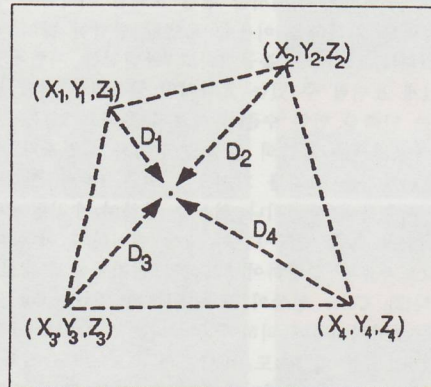
- T0 : YZ평면에서의 반사(X축 -> -X축)
- T1 : reference point로 원점 이동
- T2 : 원점을 관측자의 위치(p,θ,φ)로 이동
- T3 : Z'축을 기준, 시계 방향으로 90-θ만큼 회전, Y'축이 Z축과 교차됨
- T4 : X'축을 기준, 반시계 방향으로 180-θ만큼 회전, Z'축이 원점을 향함
- T5 : 오른손 좌표계에서 왼손 좌표계로 변환, X'축 -> -X'축
- T6 : 원근투영
- T7 : 영상의 크기 조절 및 중앙점 이동
- T8 : Z-X 평면에서의 반사(Y축 -> -Y축)
- T9 : 투영면의 회전(δ)

위의 10가지 변환을 전체 다 적용하면 최종적으로는 screen에 그려지게 될 (X, Y)좌표를 얻게 되며 이러한 변환이 종료되기까지의 순서는 다음과 같다.

$$(X_s, Y_s) \leftarrow (X, Y, Z) \cdot T0 \cdot T1 \cdot T2 \cdot T3 \cdot T4 \cdot T5 \cdot T6 \cdot T7 \cdot T8 \cdot T9$$

여기서 (X_s, Y_s)는 screen상의 좌표가 되고 (X, Y, Z)는 image file상의 (X, Y) 좌표와 이 좌표에서의 고도(Z 값)를 나타낸다.

좌표변환이 완성되면 좌표변환된 두 선을 가지고 polygon을 연속적으로 그려가면서 3차원 투사도를 제작한다. 현실감 있는 칼라 표현을 위한 칼라 interpolation 방법으로는 식 1의 방법을 사용하였다[4].



$$V_x = S_A / S_B \quad \text{---- (1)}$$

$$S_A = \text{SUM} \{ V_i / D_i \}, i = 1,2,3,4$$

$$S_B = \text{SUM} \{ 1 / D_i \}$$

$$D_i = \text{ABS} \{ X_i - X_x \} + \text{ABS} \{ Y_i - Y_x \}$$

(X_i, Y_i, V_i) : i 번째 Polygon 포인트의 (X, Y) 좌표와 칼라

(X_x, Y_x, V_x) : 구하고자 하는 점의 좌표와 칼라

(2) 비행 시뮬레이터

비행 시뮬레이터의 구현을 위해서 필요한 입력변수는 그림 2 를 참조하여 보면 알 수 있듯이 비행기의 비행 속도 (km/h), 비행기의 비행 고도 (meter), 비행기의 비행 경로, 비행할 지역의 영상의 한 화소당 거리 (meter/pixel), 비행 하면서 영상을 촬영하는 시간간격 (sec/frame), 비행기에서 비행기 밖을 내다보는 각도 (φ), 비행기가 수평상태로 부터 기울어진 각도 (투사면의 회전 각도) 등을 들 수 있다.

이러한 비행 옵션들에 따라서 Reference Point (비행기에서 내려다보는 지형의 위치) 와 관찰자의 위치 (비행기의 위치)를 계산하는 과정은 다음과 같다. 우선 비행기의 비행 시작점의 위치는 입력값에 의해 지정된다. 그리고 비행경로와 화소당 거리로부터 전체 비행거리를 계산할 수 있고 비행속도와 영상촬영 간격으로부터 촬영할 위치를 계산할 수 있다. 촬영할 위치가 정해진 후에는 그 위치와 비행고도로부터 Reference Point를 계산해 낼 수 있다. 촬영 위치점들을 연결하여 비행방향을 계산할 수 있으며, φ 에 의해서 비행기의 현재 위치로부터 Reference Point가 얼마나 떨어져 있는지를 알 수 있다. X,Y 축상에서의 비행기의 위치로부터 Reference Point (RefX,RefY)까지의 거리, Offset (화소수)는 식 2 과 같다.

$$\text{Offset} = \text{현재비행고도} * \tan(\varphi) / \text{화소당거리} \quad \text{-- (2)}$$

이렇게 Reference Point가 결정된 후에는 현재 비행기

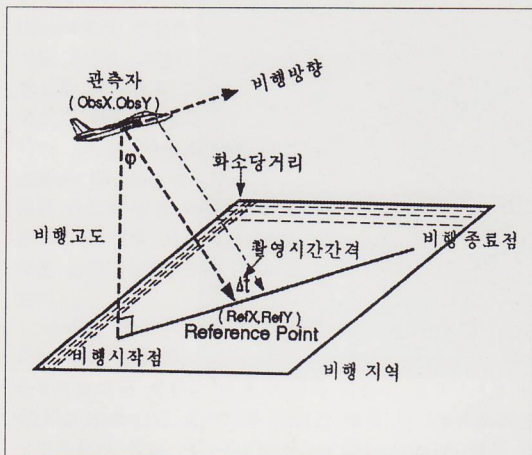


그림 2. 비행 시뮬레이터의 비행조건

의 위치와 Reference Point 를 가지고 관측자의 위치를 역으로 다시 계산하게 되며, Azimuth Angle 은 Reference Point 와 계산된 관측자의 위치에 의해 계산되어 질 수 있다. 이상과 같이 계산된 Reference Point 들과 관측자의 위치 값들 그리고 3차원 투사도 제작에 필요한 여러 변수들을 이용하여 비행 시뮬레이션을 수행하게 된다. 그림 3 은 개발된 비행 시뮬레이션 시스템의 메인 화면 위에 비행경로, 비행고도 그리고 비행속도를 입력한 후에 연습비행을 한 예를 보여 주는 것이다. 연습비행을 통해 입력된 비행변수에 따라 비행을 하였을 때의 비행결과로 총 비행소요시간, 얻어질 총 영상의 수, 평균 비행속도, 평균 비행 고도, 비행속도 그래프, 비행고도 그래프 등이 메인 화면 위에 출력된다.

3. 시험 비행 결과

그림 4 는 비행 시뮬레이터에 의해 생성된 3차원 영상의 예를 보여준다. 여기서 사용한 위성 영상은 러시아 위성 레스루스 F1이 1988년에 촬영한 함흥지역의 color 영상으로 5 미터의 해상도를 가진다. 고도자료는 Defence Map Agency (DMA) 에서 제작한 100 미터 간격의 DEM 으로 위성 영상과의 해상도 차이로 인해 bicubic resampling기법을 이용하여 5m 간격으로 재작성 하였다.

4. 결론

DEM과 위성영상의 중첩에 의하여 자연지형을 3차원으로 구현하고 비행기의 비행조건을 고려하여 개발한 비행 시뮬레이터는 3차원의 자연지형을 마치 비행기를 타고 가며 보는 것과 같은 효과를 낼 수 있게 하는 시스템이다. 정밀한 DEM과 고해상도의 위성 영상의 제공에 의하여 목표지점 비행 시뮬레이션, 북한 지역의 모의 비행 등 다양한 활용가치가 기대된다.

참고 문헌

- [1] Donald Hearn, M. Pauline Baker, "Computer Graphics", printice hall, pp205-212, 1990.
- [2] 신영수, 김현석, "3차원 그래픽", p.488, 가남사, 서울, 1991.
- [3] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, "Digital Image processing", 3rd Ed., Dddison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [4] J. D. Foley, A. V. Dam, S. K. Feiner, and J. F. Hughes, "Computer Graphics, Principles and Practice", 2nd Ed., Addison-Wesley, 1990.

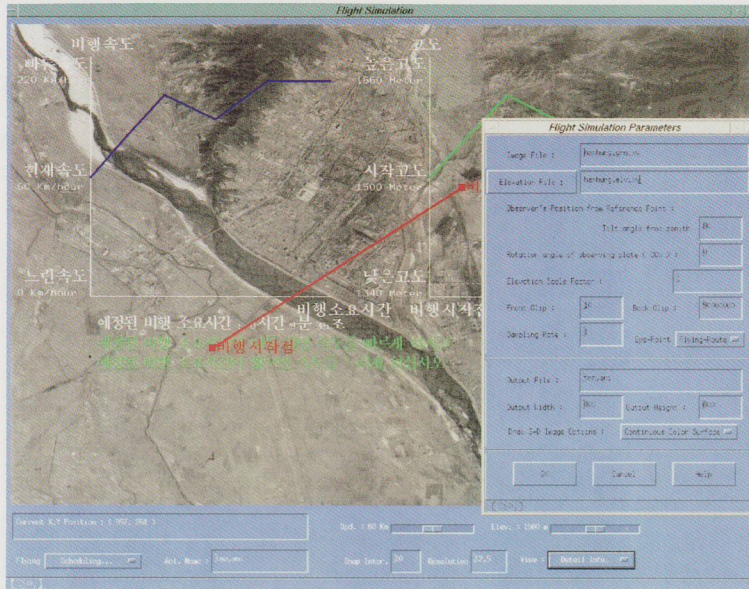


그림 3. 비행시뮬레이터 메인화면



그림 4. 비행시뮬레이터가 생성한 3차원 영상의 예