2차원 항법고속데이타 고속Matching기법 연구

李 央 熙 서강大 전자과 교수, 공학박사

이 연구는 정밀 또는 장기체공 비행체의 항법 장치로서 지상의 도움없이 독자적으로 비행이 가능하며 재밍에 무관한 영상항법 장치에 관한 것입니다.

1단계 1차년도('90. 11. 16~'92. 1. 31)에서는 기존의 알고리즘을 분석하고 기술수준을 파악하여 구현될 항법 알고리즘의 성능을 예측하였습니다.

2차년도('92. 2. 1~'93. 1. 31)에서는 영상항법 알고리즘들에 대해 실제 비행체에서 취득한 연속 항공영상들을 이용하여 컴퓨터 모의 실험을 실시하였고, 절대위치 보정을 위한 알고리즘 연구를 수행하였습니다.

현재 진행중인 1단계 마지막년도인 3차년도('93. 2. 1~'94. 1. 31)에서는 영상항법 알고리즘중 특히 절대위치 보정 알고리즘의 개선, 영상항법 알고리즘에 대한 오차 분석, 실시간 처리 시스템 구현을 위한 최적의 DSP chip 선정 및 이를 이용한 영상항법 시스템과 모듈에 대한 개념 설계 연구를 진행중입니다.

절대위치 보정

비행체의 절대위치를 찾기 위해서는 비행체로부터 들어오는 정보와 이미 가지고 있는 기준정보가 있어야 합니다.

이때 사용하는 비행체로부터의 입력정보는 2장의 스테레오 영상쌍이며, 절대위치 보정의 방법으로 사용하고 있는 것은 NCC(Normalized Cross Correlation) 유사함수를 이용, 스테레오 영상쌍을 정합하여 추출한 REM(Recovered Elevation Model)입니다.

이렇게 복원된 고도와 이미 내장되어 있는 고도정보를 정합하여 비행체 자신의 절대적인 위치를 찾음으로써 절대위치를 보정하게 됩니다.

2차년도 연구에서는 비행체가 비교적 직선비행을 하거나 roll, pitch가 크지 않고 일정하게 변하는 비행 자세를 갖고, 지상의 지형 특성 역시 급격한 변화가 적고 적당한 고도를 갖는 지역에 대하여 NCC 유사함수를 사용하여 복원실험을 한 결과 고도 정보가 비교적 잘 복원되었습니다.

그러나 비행자세가 정합하기에 적당한 자세를 갖는 다른 여러 지역에 대하여 같은 알고리즘을 적용하여 획득한 3차원 고도정보(REM)는 실제의 고도 정보와는 많은 차이를 보였습니다.

이것은 실험에 사용된 항공 영상들이 서로 다른 특성을 갖는 지역을 포함하고 있기 때문입니다.

REM이 잘 복원이 되지 않는 항공 영상을 보면 골짜기 같은 등고선의 변화가 급격한 지역, 즉 경사가 급한 지역이 많거나 경사가 매우 완만하여 기울기 변화가 거의 없는 지역을 특히 많이 포함한 영상임을 알 수 있었습니다.

그 원인을 살펴보면, 등고선이 조밀한 지역은 비행체가 이동하면서 모양이 많이 변하거나 가려지게 되고, 따라서 잘못 정합이 되거나 정

합이 안되는 경우가 생기게 됩니다.

현재까지 이러한 지역은 보간을 통하여 주위의 값으로 대치하였습니다. 따라서 골짜기의 깊이 들어가는 부분의 고도를 추출하지 못하고 주위의 높은 고도값으로 대치해버려 지도와 비교하여 볼때 매우 다른 모양의 등고선을 생성하게 됩니다.

이런 문제를 해결하기 위해서는 보간법을 개선하거나 다른 방법을 사용하여 골짜기 부분의 고도를 추출해야 합니다. 현재 보간법을 개선하여 등고선이 조밀한 지역에 대하여 실험중에 있습니다.

정합이 잘 안되는 또 다른 지역으로는 매우 완만한 경사를 가지고 고도가 변하는 지역을 들 수 있습니다.

이들 지역은 상당히 넓은 등고선 간격을 가지고 있어서 현재 가지고 있는 해상도의 영상에서는 그 넓은 지역이 하나의 disparity를 가지고 있는 것으로 추출되며, 따라서 굴곡이 많은 등고선의 모양을 제대로 추출하지 못하게 됩니다.

이의 개선책으로 좀더 높은 해상도를 갖는 영상으로 정합을 실시하는 것을 들 수 있습니다. 이를 위해 실험지역을 인공적으로 만들어 놓고 지금의 256×256 해상도보다 높은 512×512로 영상을 취득하여 실험을 하였습니다.

이 실험의 결과는 고도의 변화가 매우 완만한 지역에 대해서도 복원이 비교적 잘 되었습니다. 현재는 기존의 항공 영상을 512×512로 다시 취득하여 실험중에 있습니다.

또한 비행지역중 강 주변이나 들판 혹은 도시지역과 같이 인공지물들을 많이 포함하고 있는 지역에서는 뚜렷한 특징들을 많이 가지고 있으므로 특징 기반정합을 통하여 보다 정확한 절대위치를 추출할 수 있습니다.

따라서 비교적 정확한 위치정보를 갖고 있는 위성 영상과 항공 영상을 scene 정합함으로써 절대위치를 추출하는 방법을 REM 추출에 의한 절대위치 보정의 보완책으로서 검토 중에 있습니다.

오차 분석

영상 항법 시스템의 오차 요인은 크게 다음의 5가지로 나눌 수 있습니다.

— 실험영상에 포함된 잡음
— DEM 오차
— Shift vector에 포함된 오차
— 비행 자세 정보에 포함된 오차
— 비행 고도에 포함된 오차

먼저 이동벡터 추출에 이용된 실험 영상은 영상 취득시의 비행체의 진동, digitizing한 두 영상간의 자세를 일치시키는 과정등에서 잡음이 포함되게 되며 256×256 크기로 digitizing하는 과정에서도 어느 정도의 정보 손실이 일어나게 됩니다.

둘째, 칼만 필터링에서 데이타 베이스로 이용하는 DEM은 SPOT 위성영상 스테레오 정합을 통해 복원된 것으로 약 10m 정도의 rms 오차 성분을 포함하고 있습니다. 따라서 본 시스템의 비행위치 추정부에서 오차가 포함됩니다.

셋째, 두 영상의 정합을 통하여 취득한 상대적 이동벡터는 항상 정수값을 가지게 되므로 실제로 비행체의 상대적인 이동에서 발생하는 이동벡터를 정수단위로 양자화한 셈이 됩니다.

넷째, 비행자세 정보는 이웃하는 두 영상의 자세조건을 일치시키는 과정과 영상상의 이동벡터를 비행체의 자세정보를 고려한 이동벡터로 변환하는 과정에서 필요하게 되므로 항법 오차에 많은 영향을 미치게 됩니다.

마지막으로 비행 고도는 실험 영상에서 발생한 이동벡터를 실제 지상에서 이동한 거리로 환산하는 과정에 이용하게 되므로 여기에 섞인 오차 역시 항법 오차에 발생하게 됩니다.

따라서 3차년도 연구에서는 앞에서 서술한 오차 성분들이 서로 독립적이라고 보고 2차년도 연구결과에서 나타난 항법 오차를 각 오차 성분별로 분석하였습니다.

먼저 비행계측 센서를 모델링하여 비행체의 자세 정보 및 고도 정보에 포함된 오차를 분석하였고, 카메라로부터 취득한 영상을 256×256

의 크기로 digitizing하는 과정에서 포함되는 오차가 이동벡터 추출에 미치는 영향을 분석하였으며, DEM 및 이동벡터에 포함된 오차를 분석하였습니다.

각 오차 성분들이 시스템 오차에 미치는 영향을 실험적으로 분석하기 위하여 우선 비행체의 속도, 가속도, heading 각등을 시간의 함수로 정의하고 속도를 적분하여 시간 간격을 1초로 하는 2차원 비행 궤적을 만들었습니다.

또한 각각의 위치에 해당하는 DEM과 임의로 정한 비행 고도(해수면으로 부터의 고도) 및 heading 각을 이용하여 영상상에서의 상대적 이동 벡터를 추출해내었습니다.

여기에 각 오차 성분별로 모델링한 오차를 이동벡터, DEM 및 비행자세 정보등에 섞어 비행 궤적을 추정한 후 이를 이미 주어진 비행 궤적과 비교함으로써 각 성분별로 시스템 오차에 미치는 영향을 분석할 수 있었습니다.

시뮬레이션 결과 비행자세 및 고도 정보에 포함된 오차가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 2차년도에 카메라를 비행체에 탑재하여 실험한 경우, 비행자세 정보 및 고도 정보를 비디오 카메라에 담아 눈으로 판독하는 과정에서 대부분의 오차가 발생하게 됩니다.

따라서 데이타 획득시스템을 구성하여 계기에서 나오는 값을 디지탈 값으로 변환하여 입력으로 받아들일 경우에는 비행자세 정보 및 고도 정보에 포함된 오차들로 인한 항법 오차는 크게 감소할 것으로 생각됩니다.

한편 일정한 시간 간격으로 취득한 두 영상간의 상대적 편이에 포함된 오차(양자화 오차)는 고도가 높고 heading 각의 변화율이 작을수록 커지는 것으로 나타났는데, 이는 상대적 편이의 x성분(비행체의 진행 방향)에 비해 y성분(비행체의 오른쪽 날개 방향)이 아주 작아지는 데에 기인합니다.

또한 실험 결과 DEM에 포함된 오차로 인한 항법 오차는 생각보다 작게 나왔는데, 이는 영상상에서 나타난 상대적 편이를 지상영역에서 비행체의 상대적 이동분으로 변환하는데는 비행체와 지면과의 높이(해발고도—DEM)가 필요하게 되며, 고도가 높아질수록 DEM에 비해 해발 고도가 커지기 때문에 상대적으로 항법 오차에 기여하는 부분이 해발고도에 비하여 작기 때문입니다.

다중 프로세서에 의한 실시간 처리 시스템

시스템 구성도에서와 같이 영상항법 시스템은 매초 1회씩 입력되는 항공 영상과 계기로부터의 자세 및 고도정보를 이용하여, 확장 칼만 필터를 통하여 비행위치, 속도를 추정하게 되며, 오차의 누적을 막기 위해 고도정보를 이용하여 절대위치 보정을 행합니다.

이러한 일련의 과정을 통하여, 각 과정마다 막대한 양의 계산이 요구되며, 이의 실시간 처리를 위해 가격 대 성능, 신뢰성등을 고려하면, 다중 프로세서에 의한 분산 처리 시스템이 적합한 시스템의 구조라 할수 있습니다.

실시간 처리 시스템은 기본적으로 무조건 빠른 처리 속도보다는 필요한 시간에 필요한 처리 결과가 요구되며, 2개 이상의 독립된 자료들로부터의 입력을 제한된 시간내에 처리하기 위해, 분산 혹은 병렬처리의 다중 프로세서 채택시 데이타 처리의 동시성을 만족시킬 수 있어야 합니다.

다중 프로세서에 의한 분산 처리 시스템은 그 결합도에 따라 4개의 단계로 구분할수 있습니다.

가장 낮은 단계의 결합도를 갖는 시스템은 각 프로세서가 독립적으로 동작하며 각 프로세서 사이에는 직접적인 통신을 하지 않고 자기테이프, 디스켓 등을 매개체로 하여 정보를 주고 받는 시스템을 들수 있고, 광의의 분산처리 시스템이라 할수 있습니다.

그 다음 단계의 시스템은 각 프로세서들이 비교적 독립적으로 동작하나, 처리 결과를 배취(batch) 처리에 의하여 저속의 통신로를 통해 프로세서간의 통신이 이루어지는 시스템입니다.

세번째 단계의 시스템은 프로세서들이 비교적 밀접한 협동 관계를 갖는 시스템으로서, 프로세서들간의 통신은 고속의 통신로들을 통하여 실시간 데이타를 주고 받는 시스템으로 어느 하나의 프로세서가 작동 불능시 모든 시스템에 심각한 영향을 미치게 됩니다.

마지막으로 가장 높은 단계의 밀접도를 갖는 시스템은 다수의 프로세서가 메모리 입출력 장치, 프로그램, 태스크(task)들을 공유하며 보통 multiprocessors라 불리웁니다.

이들 4가지 단계의 분산처리 시스템중 영상 항법 시스템에 가장 적합한 구조는 세번째 단계의 다중 프로세서에 의한 분산처리 시스템(distributed multiple-processor system)이라 할 수 있습니다.

즉, 영상 항법 실시간 처리 시스템의 구현을 위해 매 과정별로 많은 양의 계산이 필요하며, 이 계산량은 이번 연구 과제에서 채택하고자 하는 디지탈 신호처리용 DSP가 처리할 수 있는 단위 시간당 계산량의 한계를 훨씬 벗어날 것이며, 따라서 DSP를 이용한 다중 프로세서에 의한 실시간 처리 시스템이 필요합니다.

실시간 처리 시스템은 컴퓨터 공학의 어느 다른 영역보다도 응용 지향적인 시스템이며 따라서 응용에 따른 적합한 구조의 컴퓨터 시스템이 필요합니다.

그러므로 프로세서의 성능 비교에 일반적으로 이용되는 MIPS 혹은 MFLOPS들 보다는application specific benchmark test가 그 용용에서의 성능을 측정하는 가장 좋은 척도가 됩니다.

따라서 이제까지 조사된 사용의 DSP chip들 중, 빠른 계산 속도를 가지며, 부동 소수점 연산이 가능하고, 32bit의 데이타 길이를 갖는 비교적 성능이 가장 우수하다고 판단되는 Analog Devices사의 ADSP 21020, Motorola사의 DSP 96002, Texas Instruments사의 TMS 320C40들에 대하여, 영상 항법 시스템에서의 계산량중 이동벡터 추출, 절대 위치 추출 등에서 가장 계산량의 비중이 큰 영상 회전과 NCC의 benchmark 모의 시험을 수행하였습니다.

Benchmark 시험 결과는 T.I.사의 TMS 320C40이 약 256ms로 가장 빠른 수행결과를 보였고, 다음은 Analog Devices사의 ADSP 21020, Motorola사의 DSP 96002의 순서로 시험 결과를 얻었습니다.

DSP chip 선정 과정에서 application specific benchmark test와 더불어 고려해야 할 사항은 DSP chip들의 다중 프로세서에 의한 분산 제어 시스템에 적합한 구조를 가지고 있느냐 하는 것입니다.

이 관점에서는 TMS 320C40이 가장 우수하다고 할 수 있습니다. 즉, 2개의 동일한 외부 데이타 및 어드레스 버스를 갖고 있어 다중 프로세서가 공유 메모리를 가질 수 있도록 되어 있습니다.

또한 입출력과 중앙 처리 장치의 동작이 동시에 이루어질 수 있도록 DMA co-processor에 의하여 제어되는 6개의 통신 포트들을 갖고 있고, 각 채널의 최대 데이타 전송량은 20 Mbps입니다. 그러나 많은 핀수(325핀)에 의하여 하드웨어가 복잡해지고 가격이 비싼 단점이 있습니다.

Motorola사의 DSP 96002도 다중 프로세서 시스템에 적합한 구조를 갖고 있습니다. 즉 TMS 320C40과 같이 2개의 동일한 외부 데이타 및 어드레스 버스를 갖고 있으며, DMA controller에 의해 제어되는 2개의 통신 포트를 가지고 있어 중앙 처리 장치의 부담을 줄여 줍니다.

또한 TMS 320C40에 비하여 적은 핀수(223핀)를 가지며 가격도 낮습니다. 이들 두 DSP들에 비하여 ADSP 21020은 1개만의 외부 데이타 및 어드레스 버스를 갖고 있고, 또한 별도의 통신 포트를 갖고 있지 못하기 때문에 다중 프로세서 시스템을 구성하기 위해서는 하드웨어가 추가되어야 하므로 복잡해 집니다.

이상에서의 benchmark 시험, 다중 프로세서 구성시 구조의 적합성, 하드웨어의 복잡성등을 고려하여 영상항법 시스템에 가장 적합한 상용 DSP chip으로 Texas Instruments사의 TMS 320C40을 선택하였습니다. *