

Readout 회로의 구조를 반영한 적외선 영상의 불균일 보정기법

최은철, 강문기

연세대학교 공과대학 전기전자공학부 TMS 사업단

Nonuniformity Correction Algorithm of Infrared Images Considering Readout Circuit Architecture

Euncheol Choi and Moon Gi Kang

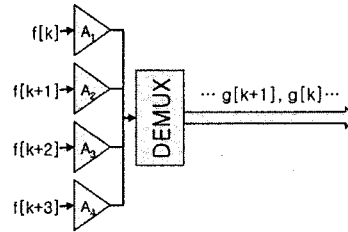
Yonsei University Institute of TMS Information Technology

Abstract - FPA (Focal Plane Array)를 이용한 적외선 영상 획득 시스템에서 발생하는 주요 잡음 중 하나는 영상에 존재하는 공간적 고정 패턴 잡음(SFPN, Spatial Fixed Pattern Noise)이다. 이것이 발생하는 주된 요인은 배열을 이루고 있는 각 검출기들과, FPA 출력단에 있는 증폭기의 입력력 응답이 균일하지 않고, 시간이 흐름에 따라 그 응답특성이 변화하기 때문이다. 이 문제를 극복하기 위하여 일반적으로 교정기반 불균일 보정 방법(CBNUC, Calibration Based Nonuniformity Correction)과 장면기반 불균일 보정 방법(SBNUC, Scene Based Nonuniformity Correction)이 사용된다. 본 논문은 CBNUC를 사용하는 시스템의 FPA 출력단 회로에 구성된 복수의 증폭기에 존재하는 이득의 차이 및 잡음에 의한 불균일을 보정하기 위한 보간 기법을 제안한다. 실험을 통하여 제안한 기법이 CBNUC 기반 적외선 영상 시스템에서 발생하는 규칙적인 패턴의 SFPN을 효율적으로 제거하는 것을 확인하였다. 또한, 제안한 기법은 CBNUC 기반 적외선 영상 시스템에서 주기적으로 수행해야 하는 단일점보정(OPC, One Point Correction)의 수행횟수를 줄이고, 연산량도 적어 실시간 시스템 구현이 가능하다.

1. 서론

적외선 영상 시스템은 일반적으로 FPA(Focal Plane Array)를 사용하여 영상을 획득한다. FPA는 영상의 화소에 해당하는 검출기들의 배열로 이루어진다. 이러한 시스템으로 획득한 적외선 영상은 여러 가지 요인에 의해 화질이 열화된다. 그 중 가장 지배적인 열화현상은 공간적 고정 패턴 잡음(SFPN, Spatial Fixed Pattern Noise)이다. SFPN이 발생하는 요인은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, FPA를 구성하고 있는 검출기 응답특성의 불균일성이다. 검출기 제조기술의 한계로 인하여 완벽하게 동일한 특성을 갖는 검출기를 제조하는 것이 사실상 불가능하고, 시스템이 운용되는 환경 등에 의해 그 특성이 시간에 따라 변화한다. 둘째, FPA 주변 출력 회로에 의한 불균일성을 들 수 있다. 각각의 검출기에서 입력된 물리량에 비례하여 전기로 변환된 신호는 출력회로를 통하여 영상신호로 전송된다. 출력회로에는 신호를 효율적으로 전달하기 위하여 멀티플렉서와 그에 접속된 증폭기, A/D 변환기 등으로 이루어진다. 각 검출기에서 생성된 신호는 일반적으로 2개 혹은 4개의 증폭기를 통해 신호가 전달된다. 이상적으로는 이 증폭기들의 입력력 특성이 동일해야 한다. 그러나 주변회로에서 발생하는 잡음과 반도체의 특성변화로 인해 그 입력력 응답이 균일하지 않다. 위에서 언급한 두 가지 원인에 의해 발생하는 SFPN은 각각 다른 형태로 표현된다. 즉, 검출기의 응답특성 불균일로 인한 SFPN은 불규칙적인 패턴으로 발생하는 반면, 출력회로 증폭기에 의한 것은 그 패턴이 규칙적으로 발생한다. 적외선 영상 시스템을 통해 획득한 영상은 이 두 가지 현상이 더해져서 불규칙적인 패턴의 SFPN으로 발현된다.

적외선 영상 시스템에서 발생하는 SFPN을 보정하기 위해 그 동안 연구를 통하여 다양한 방법이 제시되었다. 영상의 불균일을 보정하기 위한 방법은 크게 교정기반 불균일 보정(CBNUC, Calibration Based Nonuniformity Correction)과 장면기반 불균일 보정(SBNUC, Scene Based Nonuniformity Correction)으로 나눌 수 있다. CBNUC는 가장 널리 사용되는 방법으로 균일한 교정용 소스(Calibration source)를 이용하여 검출기의 응답특성을 균일화하는 방식이다[1]. 예를 들어 검출기의 응답특성을 선형으로 가정하면, 주어진 두 개 균일한 소스를 이용하여 각 검출기 응답특성을 균일하게 보정할 수 있는 계인파 오프셋을 구한다(TPC, Two Point Calibration). 각 검출기에 대한 교정용 계인파 오프셋을 이용하여 불균일한 입력영상을 균일하도록 교정할 수 있다. 또한, 시간이 지남에 따라 검출기의 특성이 점점 변하기 때문에 교정이 필요하다고 판단될 때에 사용자가 새로운 교정용 오프셋을 구하여(OPC, One Point Calibration) 불균일을 보정할 수 있다. CBNUC의 장점은 복잡한 신호처리 과정이 불필요하기 때문에 간단하게 시스템을 구성할 수 있다는 점과, 불균일 보정의 결과가 정확한 점을 들 수 있다. 그에 반해 TPC를 위한 고가의 장비가 소요되며, 주기적으로 OPC를 수행해야 하는 단점이 있다. SBNUC[2,3,4]는 균일한 교정용 소스 없이 들어오는 입력영상을 이용하여 불균일을 보정하는 방법으로 최근들어 활발하게 연구되고 있는 분야이다. 이 방법의 장점은 균일 교정 소스가 필요 없으므로, 비용절감이 되며, OPC를 위한 서터와 같은 기계적 장치가 필요 없다는 장점이 있다. 그러나, 이 방법은 일반적으로 많은 연산량을 필요로 하고, 그 정확성이 CBNUC보다 떨어지는 것으로 알려져 아직까지 실제 제품으로는 대중화가 되지 않았다.

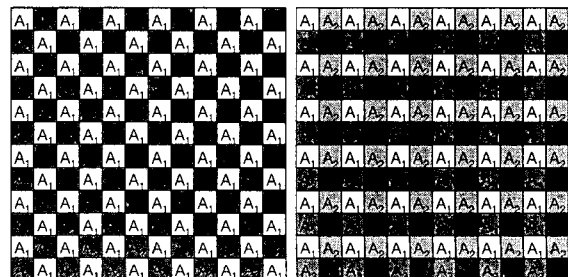


〈그림 1〉 일반적인 출력회로의 구성

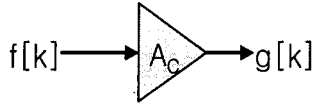
본 논문에서는 CBNUC 기반의 적외선 영상 시스템을 기반으로, 위에서 언급한 SFPN 중 FPA 주변 출력회로 증폭기의 입력력 응답 불균일에 의해 발생하는 규칙적인 패턴을 보정하는 알고리즘을 제안한다. 출력회로의 증폭기 전기적으로 잡음이 존재하거나, 이웃 회로의 영향, 사용 환경의 열악함 등의 원인으로 그 입력력 응답특성이 시간이 흐름에 따라 변화한다. FPA 검출기에 잡음이 첨가되면, 백색잡음의 형태로 나타나 육안으로 쉽게 알아볼 수 없다. 그러나 증폭기에 잡음이 발생하여 출력이 되면, 그 증폭기를 거쳐 나온 모든 화소들은 동일한 영향을 받게 된다. 결국 출력회로의 구조에 따라 규칙적인 체크보드와 비슷한 규칙적인 패턴이 발생한다. 이러한 패턴은 육안으로 쉽게 관측되므로, 전체 시스템의 성능에 크게 영향을 미치게 된다. 이를 제거하기 위해 OPC를 수행하면 그 순간의 화질개선은 이룰 수 있다. 그러나, 잡음이 계속적으로 존재하면, 그때마다 OPC를 수행하는 것은 현실적으로 어려운 일이고, OPC의 수행횟수도 급증하게 된다. 그러나 제안한 기법을 이용하여 매 프레임 처리를 하면, 이러한 패턴을 보정할 수 있고, OPC 수행횟수를 줄이는 장점이 있다. 여기서는 간단한 선형 보간 기법을 이용하여 주기적 패턴의 불균일을 보정하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 기법은 연산량이 적어 기존의 CBNUC 기반 적외선 영상 시스템에 쉽게 적용할 수 있다.

2. 규칙적인 패턴의 공간적 고정 패턴 잡음 보정

일반적인 적외선 영상 시스템은 입사되는 적외선을 FPA로 검출하고 주변 회로에 있는 멀티플렉서와 그에 딸린 증폭기를 거쳐 다중채널로 동시에 시스템의 다음단계로 전송된다. 그림 1은 이러한 FPA 출력회로를 간단하게 나타낸 것으로 네 개의 증폭기가 각각의 입력신호를 증폭하여 전송하고 있다. 이러한 방법으로 전송된 신호는 다음단계에서 다시 영상으로 재구성되는데, FPA 출력회로의 구조에 따라 그림 2와 같이 다양한 패턴으로 나타나게 된다. 그림 2에서 A_n 은 각각 그 화소가 거쳐 온 증폭기를 나타낸 것이다. 이때 각 증폭기에 잡음이 발생하거나 물리적 요인에 의해 입력력응답 특성이 변화하면 그림 2에 표현된 패턴에 따라 체크보드와 같은 모양의 영상을 얻게 된다. 이를 극복하기 위해서는 여러 개의 증폭기에서 나오는 출력 영상을 그림 3에서 보는 바와 같이 하나의 증폭기를 통해 나오는 결과에 되도록 해야 한다. 이는 간단히 영상의 특정 좌표 [m,n]에서 각 증폭기에 의해 출력되는 값의 합을 이용하여 얻을 수 있다. 즉, 증폭기의 개수를 S라 하면, 새로운 출력은



〈그림 2〉 다양한 형태의 출력 패턴



〈그림 3〉 이상적인 출력회로

$$g[m,n] = \frac{1}{S} \{g_{A_1}[m,n] + g_{A_2}[m,n] + \dots + g_{A_S}[m,n]\} \quad (1)$$

와 같이 표현할 수 있다. 여기서 $g_{A_i}[m,n]$ 은 각각의 증폭기에서 출력된 화소의 밝기를 나타낸다. 그러나 특정 위치에서 우리가 얻을 수 있는 밝기 값은 각 증폭기에서 출력된 값을 얻을 수 없고, 그 화소의 위치에 해당하는 증폭기에서 출력된 밝기 값만 얻을 수 있다. 따라서 나머지 증폭기에서 출력된 밝기 값은 주변에 실제로 그 증폭기에 출력된 화소의 밝기 값을 이용하여 추정하여야 한다. 이렇게 추정된 밝기 값을 $\overline{g_{A_i}[m,n]}$ 라 한다면 증폭기 A_i 에 의해 출력되는 위치인 $[m,n]$ 에 해당하는 밝기 값은 (1)의 식을 변형하여

$$g[m,n] = \frac{1}{S} \{g_{A_1}[m,n] + \overline{g_{A_2}[m,n]} + \dots + \overline{g_{A_S}[m,n]}\} \quad (2)$$

으로 나타낼 수 있다. $\overline{g_{A_i}[m,n]}$ 의 값은 그림 2에 나타난 것처럼 주변 출력회로의 구조에 따라 구하는 식이 달라진다. 예를 들어 그림 2의 첫 번째처럼 두 개의 증폭기로 구성되어 있는 경우, 증폭기 A_1 에 의해 출력되는 $[m,n]$ 에 대응되는 $\overline{g_{A_2}[m,n]}$ 은

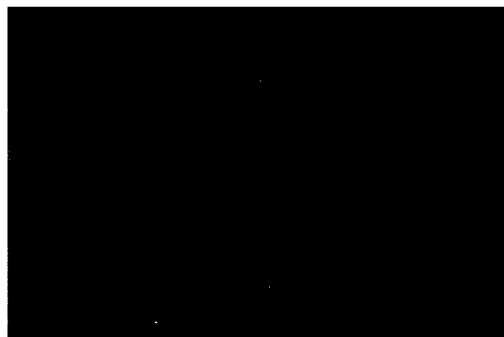
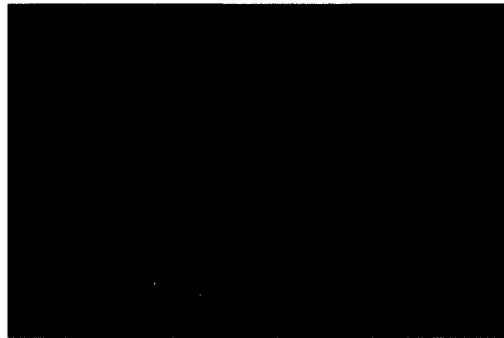
$$\overline{g_{A_2}[m,n]} = \frac{1}{4} \{g_{A_2}[m,n-1] + g_{A_2}[m,n+1] + g_{A_2}[m-1,n] + g_{A_2}[m+1,n]\} \quad (3)$$

으로 구할 수 있다. 식 (3)이 의미하는 것은 특정 증폭기에서 출력되지 않은 위치에 해당하는 화소의 밝기를 선형 보간을 이용하여 추정하는 것이다. 결국 각 증폭기에서 출력된 화소들로 각각 보간한 영상을 생성하고 이를 합쳐서 규칙적인 패턴이 사라진 새로운 영상을 얻는 것으로 요약할 수 있다. 각각의 보간된 영상은 선형 보간 기법을 사용하기 때문에 영상의 화질이 스무딩되는 현상이 발생할 수 있다. 그러나 보간된 영상이 여러 장이고, 추정된 값이 아닌 실제 증폭기를 통해 출력된 화소의 위치가 모두 다르기 때문에 화질의 열화를 방지할 수 있다.

제한한 방법을 통하여 획득된 영상은 적외선 영상 시스템에서 자주 발생하는 규칙적인 패턴의 SFPN을 효과적으로 보정할 뿐 아니라, 구현을 위해 요구되는 연산량이 적어 하드웨어로 구현하여 실시간으로 작동하도록 하는데 용이하다. 또 실제로 CBNUC 기반의 적외선 영상 시스템을 사용할 때, 운용시간이 흐름에 따라 주기적으로 렌즈 앞에 장착된 서터를 닫거나 균일한 입력을 갖는 소스를 이용하여 OPC를 수행하여 변화된 응답특성을 보정해야 한다. 이러한 응답특성의 변화는 FPA의 검출기의 특성변화도 있지만, 출력회로의 증폭기 응답 특성 변화에 의한 영향도 상당하다. 따라서 제한한 알고리즘을 사용함으로써, OPC를 수행하는 횟수를 줄일 수 있다. 또한 증폭기에 미치는 잡음에 의한 화질의 열화를 극복할 수 있는 좋은 방안이 될 수 있다.

3. 실험 결과

제한한 알고리즘의 성능을 검증할 위해 실제로 규칙적 고정 패턴이 발생한 적외선 영상을 사용하였다. 영상을 획득한 시스템의 출력 회로는 두 개의 증폭기를 내장하여 그림 2의 가운데 그림에서 보논바와 같은 패턴을 형성한다. 그림 4의 첫 번째 그림은 실제로 이러한 규칙적 고정패턴이 발생한 적외선 영상이다. 그림의 평탄한 부분에서 알아 볼 수 있듯이 체크보드와 같은 형태의 규칙적인 모양들이 잘 드러남을 알 수 있다. 제한한 방법의 성능 비교를 위해 Narayanan의 방법[3]을 구현하였으며, 그림 4의 두 번째 그림이 그 결과이다. 본래 Narayanan의 방법은 SBNUC 기반의 방법이지만, 본 논문에서는 규칙적 패턴을 제거하기 위한 앞 단계의 알고리즘만 구현하였다. 세 번째 그림이 제안한 방법을 구현한 결과이다. 결과 영상에서 알 수 있듯이 제안한 방법이 가장 부드러운 결과를 보이고 있다. Narayanan의 방법은 증폭기의 선형을 가정하고 계인과 오프셋을 추정하는 방법이기 때문에 증폭기가 비선형이거나, 파라미터 추정을 위한 데이터 양이 충분하지 않거나, 바람직하지 않은 데이터가 많이 입력되었을 경우 좋은 성능을 발휘하지 못하게 된다. 그러나 제안한 방법은 파라미터를 추정하는 것이 아니라 현재 프레임의 화소들을 이용하고, 또, 보정하려는 화소의 주변 화소만을 사용하기 때문에 패턴 잡음을 보정하는데 우수한 성능을 보이고 있다. 그러나 예지가 강한 영역에서는 선형 보간 기법의 한계로 예지가 약간 평탄해지는 단점도 있음을 관찰할 수 있다. 이 문제점은 후속 연구를 통해 개선해야 할 것으로 사료된다.



〈그림 4〉 실험결과영상

4. 결 론

본 논문은 적외선 영상 획득시스템에서 발생하는 공간적 고정 패턴 잡음 중 주변회로에 존재하는 증폭기의 입력력 응답의 불균일성으로 인해 발생하는 규칙적인 패턴의 잡음을 교정하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법은 선형보간 기반의 기술로, CBNUC의 단점을 보완하기 위한 기술이다. 본 기법을 이용하여 CBNUC에서 수행해야 하는 OPC의 횟수를 줄일 수 있으며, 잡음에 의해 증폭기의 입력력 응답이 불규칙적으로 변화할 때 그 성능을 발휘한다. 또한 SBNUC와는 달리 제안한 방법의 연산량이 적기 때문에 실시간 처리가 가능하고, 기존의 CBNUC를 채용한 적외선 영상 시스템에 쉽게 적용할 수 있다.

Acknowledgement

이 논문은 2007년도 교육인적자원부 BK21 사업의 일환인 연세대학교 전기전자공학부 TMS 사업단과 서울시 산학연협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠컨버전스 클러스터 공동지원으로 연구되었음

[참 고 문 헌]

- [1] P. M. Narendra and N. A. Foss, "Shutterless fixed pattern noise correction for infrared imaging arrays," Proc. SPIE, 282, 44~51, 1981
- [2] J. G. Harris, "Continuous-time calibration of VLSI sensors for gain and offset variations," Proc. SPIE 2474, 23~33, 1995
- [3] B. Narayanan, R. C. Hardie, and R. A. Muse, "Scene-based nonuniformity correction technique that exploits knowledge of the focal-plane array readout architecture", Applied Optics, 44, 3482~3491 2005
- [4] M. M. Hayat, S. N. Torres, E. Armstrong, S. C. Cain, and B. Yasud a, "Statistical algorithm for nonuniformity correction in focal-plane arrays," Applied Optics. 38, 772~780, 1999