

실시간 운영체제를 활용한 레이더 개발에 대한 연구

이달한*, 정기현**

*아주대학교 전자공학과(삼성탈레스), **아주대학교 전자공학과

e-mail : ldhbest@naver.com, khchung@ajou.ac.kr

A Study on Radar System Development utilizing a RTOS

Dal-Han Lee*, Kihyun Chung**

*Dept. of Electronic Engineering, Ajou University (Samsung Thales)

**Dept. of Electronic Engineering, Ajou University

요 약

현대의 레이더는 복잡성 증가 및 다기능으로의 변화가 불가피하며 이에 따라 보다 정교하고 실시간성이 보장되는 구성품의 제어가 필요하여 고속의 실시간 통제가 필수적으로 사용되어야 한다. 고속의 실시간 통제를 구현하기 위해서는 신뢰성이 높은 실시간 운영체제를 기반으로 개발하여야 하며 오류가 없는 통제 소프트웨어의 구현이 필요하다.

1. 서론

최근 레이더는 과거의 단순 기능형 레이더에서 탈피하여 다중 기능, 다중 모드 또한 지능형 레이더로 발전하는 추세이다. 이러한 복잡한 기능을 수행하기 위해서는 하드웨어를 이용한 제어나 간단한 운영체제(OS: Operating System)에 기반한 소프트웨어의 제어로는 충분한 임무 수행을 감당하기 어려운 것이 현실이다. 따라서 현재의 레이더 개발을 위해서 신뢰성과 기능성이 우수한 실시간 운영체제(RTOS: Real Time OS)를 활용하는 추세가 보편적이다. 본 논문에서는 다기능레이더를 중심으로 여기에 필요한 실시간 운영체제를 활용한 시스템 설계 및 운용 방안에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 실시간 운영체제(RTOS) [1]

현대의 임베디드 시스템은 일관적이고 예측 가능한 동작이 가능하여야 하며 시간에 민감한 응용 프로그램과 구성품의 제어를 할 수 있도록 실시간 운영체제를 필요로 한다. 오늘날의 많은 마이크로 프로세서에서 매우 빠르게 동작하도록 설계된 실시간 운영체제는 복잡성(complexity)과 확정성(determinism)이라는 중요한 두 가지 요소를 처리할 수 있다. 즉, 실시간 운영체제는 극도로 정밀한 반응시간 내에 응용 프로그램의 수행을 처리할 수 있어야 한다. 실시간 운영체제의 특징을 살펴보면 신뢰성(dependability), 예측성(predictability), 동시성(simultaneity), 적시성(timeliness)을 제공함으로써 멀티 태스킹과 작업 스케줄링에 집중해야 한다. 이를 위해서 다중 프로세스, 다중 스레드, 선점 가능하여야 하며 스레드는 우선순위를 가지고 스케줄링이 되어야 한다. 그리고 최소 메모리 요구사항을 만족하기 위하여 소형 커널을 가져야 한다.

대표적인 상용 실시간 운영체제에는 Windriver 사의 VxWorks, Accelerated Technology 사의 Nucleus, Enea AB 사의 OSE, Express Logic 사의 ThreadX, Green Hills Software 사의 Integrity, LinuxWorks 사의 LynxOS 등이 있으며 본 논문에서는 신뢰성이 높고 많은 제품에서 검증이 된 Windriver 사의 VxWorks 를 적용한 시스템에 대하여 고찰하도록 한다.

3. 다기능레이더 시스템의 요구사항

3 차원 다기능레이더(MFR: Multi-Function Radar)^[2]는 실시간으로 다수의 표적을 동시에 탐지하고 추적하며 피아식별, 유도탄 포착/추적 등의 기능을 수행하는 최신 레이더 시스템이다. 이러한 다수의 기능을 하나의 시스템에서 실시간으로 처리하기 위해서는 전자적 빔 조향(ESA: Electronically Scanned Array radar) 기술과 다양한 실시간 신호처리 기술이 필요하며 더불어 레이더의 한정된 자원을 효과적으로 활용하기 위한 통제/제어 기술이 필요하다^[3]. 레이더의 자원이라고 할 수 있는 시간, 에너지, 처리능력을 효율적으로 관리, 운용할 수 있는 적응적 파형 선택, 표적 위협도 분석을 통한 표적별 차등 처리, 적응적 추적 주기 기법 등이 연구되고 있으며, 이러한 처리를 원활하게 수행하기 위해서는 강성 실시간 운영체제를 활용한 통제가 필요하게 된다.

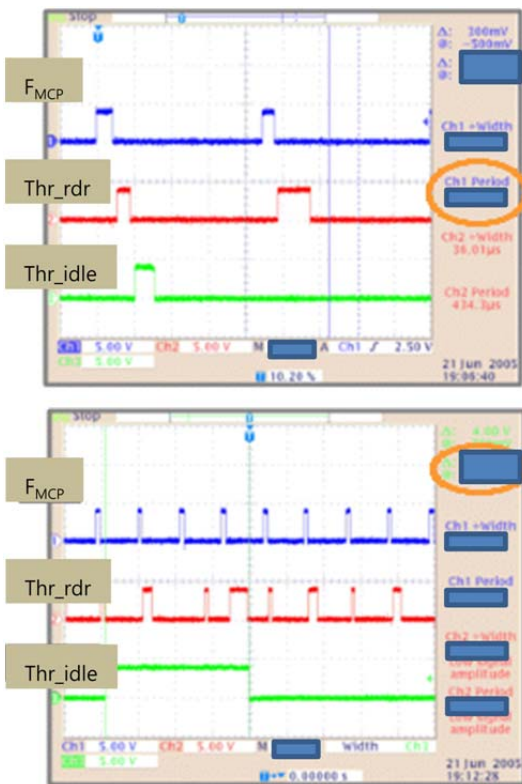
레이더통제기는 표적의 탐지 및 추적, 유도탄 포착 및 추적 등의 기능과 탐색 영역의 특성 등을 고려하여 적절한 파형을 선택하여 각 구성품에 대해 제어 데이터를 전송하고 처리된 임무의 결과를 수신하여 최종 데이터 처리를 수행하게 된다. 안테나의 위치를 제어하기 위한 구동기 제어, 빔 조향을 하기 위한 위상배열 제어, 할당된 파형을 생성하고 송신하기 위한 파형제어, 수신된 파형에 대한 수신처리 및 신호처리

를 위한 제어 등 다수의 구성품을 효과적으로 제어하여야 한다. 이때 다기능레이더의 특성에 부합하는 빠른 임무 처리를 위해서는 수백 μ s 단위의 동작 주기(Working cycle)를 가져야 한다.

4. 실시간 운영체제를 적용한 레이더통제기

레이더는 일반적으로 안테나제어기, 파형발생기, 신호처리기, 회전구동기(혹은 서보제어기) 그리고 이러한 모든 구성품을 통제/제어하는 레이더통제기로 구성된다. 레이더통제기는 하부의 구성품을 제어하기 위하여 그 임무의 특성에 따라 실시간 타이밍을 가지고 동작을 하게 된다. 하부 구성품의 특성에 따라 레이더통제기는 각각의 채널을 통하여 구성품의 동작 타이밍에 대한 제어를 수행하게 된다.

이러한 실시간 제어를 정확하게 수행하기 위해서 레이더통제기는 실시간 운영체제를 이용하여 주어진 인터럽트(Interrupt) 타이밍에 기반한 쓰레드(Thread)를 생성하여 아래 <그림 1>과 같이 운용주기를 가지고 동작되어야 한다. <그림 1>에서 F_{MCP} (Frequency of Minimum Cycle Pulse)는 레이더의 최소 동작 인터럽트를 의미하며 Thr_{rdr} 은 레이더 주요 임무 수행에 필요한 쓰레드의 동작시간을 나타내고 Thr_{idle} 은 주요 임무 수행이 아닌 부수적인 동작(데이터 전송, 저장 등)에 필요한 쓰레드의 동작시간을 의미한다.

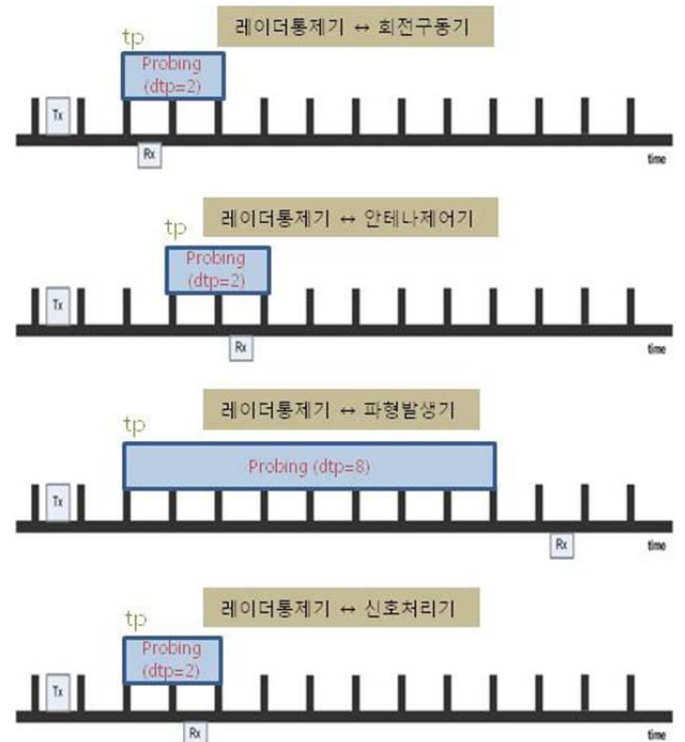


<그림 1> 레이더통제기 인터럽트 및 쓰레드 동작 확인

레이더통제기는 위와 같은 쓰레드로 정확하게 동작하면서 하부 구성품에 대한 실시간 제어를 수행하는 동작 타이밍을 정확히 수행하여야 한다. 이때 각 하부 구성품의 동작 특성에 따라 그 타이밍은 효과적이고 안정적으로 설계되어야 한다. 아래 <그림 2>는 레

이더의 주요 구성품에 대한 실시간 타이밍 설계의 결과를 나타낸다. 여기서 tp (Probing Time)는 실제 레이더의 주요 수행인 빔 프로빙 시작 시간을 의미하며 dtp (Dwell Time Period)는 레이더의 임무주기를 나타낸다. 즉, $dtp=1$ 이면 F_{MCP} 를 의미하며 $dtp=2$ 는 $F_{MCP} \times 2$ 를 의미한다. <그림 2>에서와 같이 레이더통제기는 하부 구성품의 내부 동작 처리 시간을 고려하여 빔 프로빙 시간을 기준으로 2 개의 인터럽트 전 혹은 3 개의 인터럽트 전에 구성품에 대한 제어데이터를 전송(Tx: Transmitting)하도록 타이밍을 설계한다. 또한 하부 구성품에서의 처리 시간을 고려하여 레이더통제기가 제어 결과를 수신(Rx: Receiving)하는 시간을 설계한다.

회전구동기는 빔 프로빙 전에 이미 그 임무를 완료하여 그 결과를 레이더통제기로 전송하여야 하므로 빔 프로빙 이후 즉시 Rx 데이터를 전송하도록 설계된다. 또한 안테나제어기는 빔 프로빙을 위한 빔 조향 각도를 산출하고 다수의 배열모듈에 그 데이터를 전송하여 정확한 송신 빔 및 수신 빔의 방향을 조향하여야 하므로 처리 시간을 고려하여 3 개 인터럽트 전에 제어데이터를 전송하고 수신기에 대한 제어를 완료하고 레이더통제기로 전송하는 시간을 고려하여 빔 프로빙 이후 2 개의 인터럽트 후에 Rx 데이터를 전송하도록 설계된다. 또한 파형발생기는 송신되는 빔의 종류가 다양하여 실제 dtp 시간에 대해 임무를 지속적으로 수행한 후에 Rx 데이터를 전송하도록 설계된다. 마지막으로 신호처리기는 수신되는 빔의 처리를 위한 준비가 완료되는 시간을 고려하여 빔 프로빙 이후 2 개의 인터럽트 후에 Rx 데이터를 전송하도록 설계된다.



<그림 2> 레이더 구성품 제어 타이밍

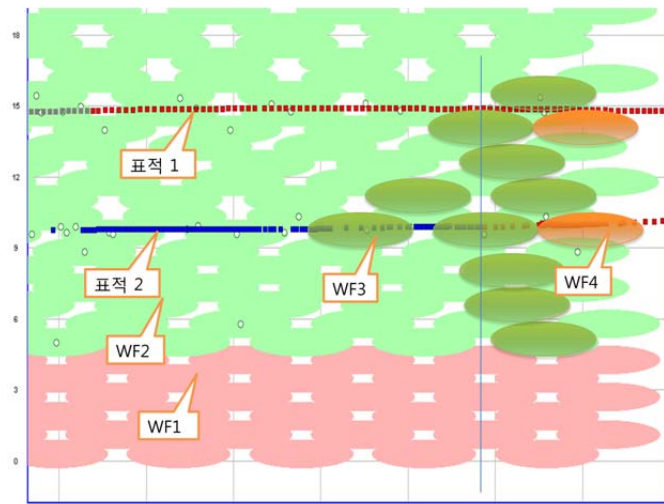
이러한 실시간 하부 구성품 제어 타이밍은 레이더

가 가지는 구성품의 특성과 수행하여야 하는 임무에 따른 과형의 유형에 따라 최적화되어 설계되어야 한다.

5. 레이더통제기를 통한 시스템 운용 결과

앞서 살펴본 바와 같이 레이더 구성품에 대한 실시간 제어가 정상적으로 실행되면 지정된 공간 상에 탐색빔이 송신되고 표적이 탐지되면 자동으로 추적빔을 송신하여 표적을 지속적으로 추적하게 된다. 공간 상에 송신된 탐색빔의 수신 신호 세기에 따라 표적을 탐지하기에 가장 효과적인 과형이 결정되고 추적에 적합한 과형도 레이더통제기에 의해 선택되어 그 임무를 수행하게 된다. 아래 <그림 3>은 탐색빔의 결과에 따른 과형 결정의 상태를 나타내며 탐지된 표적에 대한 추적의 상태도 함께 표현되었다. WF1 과 WF2 는 탐색빔을 나타내며 WF3 과 WF4 는 추적빔을 의미한다. 그리고 타원형으로 표현된 것은 안테나의 형태 및 크기에 따라 결정되는 빔의 유효 빔폭을 나타내는 것이고 타원형의 중심이 빔이 방사된 중심 각도를 방위각과 고각의 형태로 나타낸 것이다.

아래 그림에서와 같이 레이더는 지정된 공간을 지속적으로 탐색하다가 표적이 탐지되면 최대한 빠르게 추적을 수행할 수 있어야 하며 추적을 수행하는 중에도 탐색빔은 계속 운용이 되어야 한다. 수백 μs 단위의 동작 주기로 빔 운용이 가능하여야 하며 이를 위해서 강성 실시간 운영체제가 필요하게 된다. 또한 다수의 하부 구성품을 동시에 제어하기 위하여 다채널의 제어 루틴이 필요하게 된다.



<그림 3> 빔 프로빙 결과

6. 결론

다수의 표적에 대한 탐지 및 추적, 유도탄에 대한 포착 및 추적을 수행해야 하는 다기능레이더와 같은 시스템에서는 고신뢰성을 가진 강성 실시간 운영체제를 이용한 레이더통제기가 필요하며 정확한 타이밍의 설계가 필수적으로 필요하다. 위에서 살펴본 바와 같이 실시간 운영체제로 동작되는 레이더통제기를 이용한 결과는 이미 다기능레이더 시스템을 통하여 그 기능

과 성능이 입증되었으며 향후에는 다중 기능, 다중 모드로 동작하는 최신의 레이더를 운용하기 위해서는 필수적인 부분이다. 또한 근래에는 멀티 태스킹 (Multi-tasking)을 넘어 멀티코어(Multi-core), 멀티 운영체제(Multi-OS)를 이용한 보다 복잡한 시스템을 제어할 수 있도록 해주는 방안이 개발되고 있다.

참고문헌

- [1] Qing Li, 전동환, 성원호 역 “실시간 임베디드 시스템 디자인”
- [2] Sergio Sabatini. “Multifunction Array Radar, System Design and Analysis”
- [3] Bassem R. Mahafza. “Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB”