

실시간 시스템 개발을 위한 데이터 처리 시간과 프로세서 사용을 추정 기법

김한동^o 최태봉 교수주
삼성탈레스 ㉸

{handong73.kim^o, taebong.choi, soonju.ko}@samsung.com

An Estimation Scheme on Processing Time and Processor Utilization
for Real-Time System Development

HanDong Kim^o TaeBong Choi, SoonJu Ko
SamSung Thales Co., Ltd

요 약

The current paper is on a study of the performance estimation for data processing time and CPU utilization to efficiently develop the real-time system. The analytical modeling and OPNET modeling and benchmarking tests are applied to perform the estimation for data processing time and CPU utilization in real-time system. We demonstrate that the estimation results can be predicted fairly and accurately through the benchmarking test results although there is a small variance between the estimation results and the benchmarking test results.

1. 서 론

실시간 시스템은 시스템의 수행결과가 기능적으로 정확해야 할 뿐만 아니라 결과가 산출되어야 하는 시간에도 적시성(Timeliness)을 가져야 하는 시스템으로서 일반적으로 방위 시스템이나 항공시스템과 같은 특수한 목적을 가진 시스템에 사용된다. 실시간 시스템은 크게 두 가지 형태로 나누어 지는데, 하나는 시스템의 태스크(Task)가 시간적 제약조건을 어기는 경우 시스템에 심각한 영향을 주는 time-critical 속성을 가지는 hard real-time 시스템이고, 다른 하나는 시스템의 태스크가 시간적 제약조건을 어긴 경우 단지 시스템의 평균적 성능에만 미세한 영향을 주는 soft real-time 시스템이다. Hard real-time 시스템일 경우 시간의 적시성을 갖지 못한다면 작게는 시스템의 오 작동뿐만 아니라 크게는 인명피해나 환경피해가 따르게 된다. 특히 방위 시스템의 경우는 이런 시간의 적시성이 가장 중요시 되는 실시간 시스템이라고 할 수 있다. 이런 실시간 시스템의 대부분은 내장형(Embedded) 컴퓨터 시스템으로 이루어져 있으며, VxWorks등과 같은 실시간 운영체제(Real Time Operating System)를 사용한다. 실시간 운영체제에 사용되는 CPU는 일반적으로 모토로라 제품을 가장 많이 사용하며, 실시간 시스템에서의 CPU는 실시간 시스템에서의 시간의 적시성을 만족할 수 있도록 하는 가장 중요한 구성 요소이다. 따라서 새로운 실시간 시스템 개발을 성공적으로 하기 위해서는 시간적 제약 조건을 만족할 수 있도록 시스템의 CPU를 적절하게 구성하여야 하며 그러기 위해서는 데이터 처리 시간에 대한 추정이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 실시간 시스템으로 구성된 해군 전투체계의 개발에 적용된 데이터 처리 시간 추정 방법과 프로세서의 사용률 예측 방법에 대해서 알아보고, 추정방법의 타당성을 검증 함으로서 실시간 시스템 개발 과정에서의 위험(RISK)을 줄이고, 새로운 실시간 시스템 개발에 적용할 수 있도록 하고자 한다. 본 논문에서 사용된 추정 기법은 기존의 데이터와 시스템 명세서를 기반으로 한 분석적 모델링과 신뢰성이 검증된 통합된 시뮬레이션 환경을 제공하는 OPNET 모델링을 사용하였고, 벤치마킹 테스트를 통

해서 추정의 정확성을 검증 하였다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서 데이터 처리 시간을 추정하기 위한 기법에 대해서 알아본다. 3장에서는 추정된 데이터 처리 시간을 이용한 프로세서의 사용률 추정 기법에 대해서 알아보고, 4장에서는 추정을 통해 얻은 결과와 벤치마킹 테스트를 통해 얻어진 결과를 비교함으로써 추정의 타당성을 알아보고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 데이터 처리 시간에 대한 추정 기법

본 장에서는 분석적 모델링(Analytical Modeling)과 OPNET 모델링을 이용한 데이터 처리 시간에 대한 추정 기법을 알아본다.

2.1 분석적 모델링 기법

해군 전투체계는 전투체계 데이터베이스라는 컴퓨터 네트워크 시스템을 통해 센서체계, 지휘 통제체계, 무기체계를 연결하여 전투 업무 프로세스의 자동화를 지원하는 것이다. 대부분의 해군 전투체계는 실시간 시스템으로 구성되어 있으며, 실시간 운영체제를 사용한다. 따라서 실시간 시스템의 새로운 해군 전투 체계를 설계하는데 있어서 데이터 처리 시간과 프로세서 사용률은 가장 중요한 성능 요소라고 할 수 있다. 그림 1은 본 논문에서 사용된 해군 전투체계의 기본 구성을 나타낸 그림이며, 기본적으로 2개의 센서체계와 3개의 무기 체계 그리고 이러한 부 시스템들과의 데이터 통신을 위한 2개의 연동 시스템과 지휘 통제 체계로 구성되어 있다. 본 논문에서는 연동시스템에 대한 데이터 처리 시간과 프로세서 사용률에 대한 추정을 하였다 [1],[2].

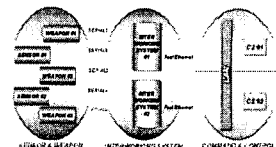


그림 1. 실시간 시스템의 해군 전투체계 구성도

각 부 시스템들은 서로 다른 통신 프로토콜을 사용하여 연동 시스템은 정해진 시간 안에 데이터를 처리해서 지휘 통제 체계로 전달하게 된다. 연동 시스템의 데이터 처리 시간은 데이터가 부 시스템으로부터 연동시스템에 들어온 순간부터 데이터를 처리해서 나갈 때까지 소요되는 시간을 의미한다. 데이터 처리시간에 대한 분석적 모델링 기법은 먼저 이러한 데이터 흐름에 대한 과정을 나눌 수 있는 한 가장 작은 단위(Activity)로 나누고, 각 단위마다 시간을 할당하는 것이다. 그림 2는 분석적 모델링을 이용하여 연동시스템의 데이터 처리 시간을 추정한 그림이다.

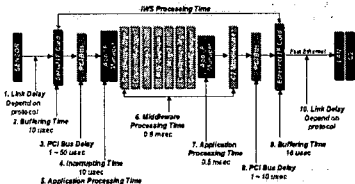


그림 2. 데이터 처리 시간 추정을 위한 분석적 모델링 기법

링크 지연은 부 시스템이 사용하는 통신 프로토콜과 데이터의 크기에 따라 다르며, 연동 시스템의 데이터 처리 시간에 대한 추정치는 시스템 분석, 제품/시스템 명세서, 벤치마킹 테스트 그리고 비슷한 시스템과의 유사성(Similarity)을 통해서 구할 수 있다.

2.2 OPNET 모델링 기법

데이터 처리 시간을 추정하기 위한 다른 방법은 OPNET 모델링을 이용하는 것이다. OPNET 모델링은 개발할 시스템에 대한 가상 설계 및 구현이 가능하고, 구현한 모델에 대한 시뮬레이션을 통해 네트워크 및 시스템의 성능을 예측할 수 있도록 해주는 모델링 방법이다. 그림 3은 해군전투체계의 전체 시스템을 구현한 OPNET 네트워크 모델과 체계 내의 연동 시스템을 구현한 노드 모델을 나타낸 그림이다 [2],[7].

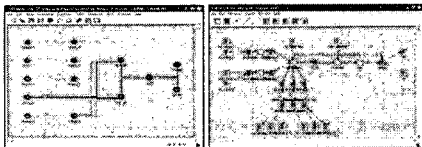


그림 3. 데이터 처리 시간 추정을 위한 OPNET 모델

네트워크 모델은 실제 개발할 시스템 내부를 나타내는 모델이며, 노드 모델은 각각의 시스템들 내부의 프로토콜 스택과 데이터의 흐름을 나타내는 모델이다. 연동 시스템의 노드 모델은 부 시스템으로부터 받은 데이터 처리를 위한 기능에 따라 여러 개의 큐와 프로세스 모듈 그리고 패킷 스트림으로 구성되어 있으며 각 모듈은 그림 4에서 보는 것과 같이 처리기능에 따라 여러 개의 프로세스 모듈로 구성되어 있다.

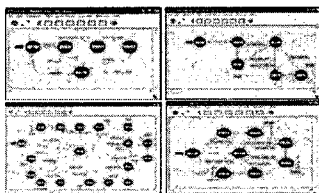


그림 4. 연동시스템의 프로세스 모델

연동 시스템의 프로세스 모델은 노드 모델의 각 모듈의 기능은 상태전이도(State Transit Diagram)로 나타낸 모델이다.

이렇게 구현된 연동 시스템의 OPNET 모델을 기반으로 시뮬레이션 수행함으로써 연동 시스템의 데이터 처리 시간을 추정할 수 있다. 그림 5는 링크 지연과 데이터 처리 시간에 대한 OPNET 시뮬레이션 결과를 나타내는 그림이다.

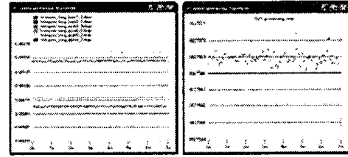


그림 5. 데이터 처리 시간에 대한 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 링크지연은 프로토콜의 속도와 데이터의 크기에 따라 달라지며 데이터 처리 시간은 데이터의 크기와 각 데이터의 처리 과정 그리고 큐의 크기에 따라 처리 시간의 편차가 발생하지만 분석적 모델링을 통해 추정된 최대 추정값보다 작음을 알 수 있다.

3. 프로세서 사용율에 대한 추정 기법

본 장에서는 분석적 모델링(Analytical Modeling)과 OPNET 모델링을 이용한 프로세서 사용율에 대한 추정 기법을 알아본다.

3.1 분석적 모델링 기법

프로세서(CPU) 사용율은 시스템 내에서 여러 프로세스들이 CPU를 점유하고 있는 시간을 특정시간에 대해 백분율로 나타낸 것이다. 만약 어떤 기능을 수행하기 위해 프로세스들이 1초 동안 CPU를 100ms 점유했다면 CPU사용율은 (100ms / 1000ms) * 100 = 10%가 되고 나머지 90%는 IDLE상태가 된다 [1],[4]. 실시간 시스템에서 CPU의 사용율이 너무 높게 되면 실시간 시스템에서 요구하는 시간의 적시성을 만족시킬 수 없게 된다. 따라서 실시간 시스템을 설계하는데 있어서 CPU 사용율의 추정을 통해 적절하게 CPU를 구성하는 것은 아주 중요하다. 먼저 시스템의 CPU 사용율 추정을 위해서는 연동 시스템의 데이터 수신, 데이터 처리, 데이터 송신 과정의 모든 기능들을 분석하고 정의해야 한다. 그런 다음 분석된 기능에 따라 CPU의 사용 시간을 할당한다. 그림 6은 연동 시스템의 기능 분석과 추정된 데이터 처리 시간을 기반으로 해군 전투체계의 CPU사용율을 각 기능에 따라 구분한 그림이다.

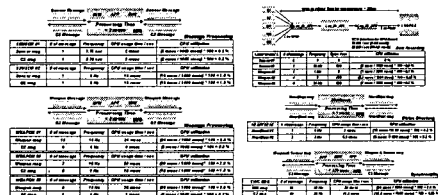


그림 6. CPU 사용율 추정을 위한 분석적 모델링 기법

연동시스템에 대한 CPU사용율 추정은 그림 6에서 볼 수 있듯이 기능에 따라 크게 4부분으로 나뉘어져 다음과 같다.

- 센서/무기체계로부터 들어오는 데이터 처리 기능
- 이중화를 위한 데이터 저장 기능
- 시스템의 동기화를 위한 데이터 처리 기능
- 시스템간의 상태 파악을 위한 데이터 처리 기능

각 기능에 따라 데이터의 주기, 데이터의 크기 그리고 데이터의 처리시간을 조합해서 하나의 데이터를 처리하는데 사용되는 CPU의 사용율을 추정할 수 있다. 그 외에 연동 시스템의 CPU사용율은 VxWorks 운영체제가 가지는 CPU 사용율이 있는데 일반적으로 0.5%미만의 CPU사용율을 가진다.

3.2 OPNET 모델링 기법

CPU 사용률에 대한 보다 정확한 추정기법은 분석적 모델링을 통해 추정된 추정 결과를 구현된 OPNET 모델에 적용시켜 CPU 사용률을 추정하는 방법이다. 그림 7은 연동 시스템의 CPU사용률 추정을 위해 구현된 OPNET 모델에 분석적 모델링을 통해 추정된 값을 적용시켜 시뮬레이션을 수행한 결과이다 [2],[7].

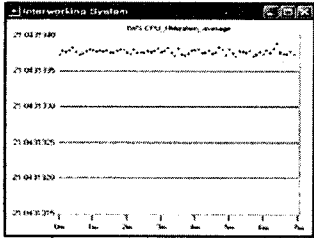


그림 7. CPU사용률에 대한 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 연동 시스템의 CPU 사용률은 센서체계나 무기체계로부터 들어오는 데이터의 크기와 데이터의 특성에 따른 처리 과정에 따라 CPU사용률의 편차가 발생함을 알 수 있었고 OPNET모델링을 통해 추정된 값은 분석적 모델링을 통해 추정된 최대 추정 값보다 작지만 두 추정 값 사이에 크기가 크지 않음을 알 수 있었다.

4. 시험(Benchmarking Test)을 통한 추정 기법 검증

본 장에서는 Benchmarking Test를 통해 제안된 데이터 처리 시간에 대한 추정 결과와 CPU사용률에 대한 추정 결과를 비교함으로써 추정기법의 타당성과 신뢰성 검증을 하고자 한다.

4.1 시험 환경

데이터 처리 시간과 CPU사용률 추정의 결과에 대해 실 시스템 상에서의 결과가 어느 정도의 타당성과 신뢰성을 가지는지 알아보기 위해 그림 8과 같이 연동 시스템의 시험 환경을 구성하였다.

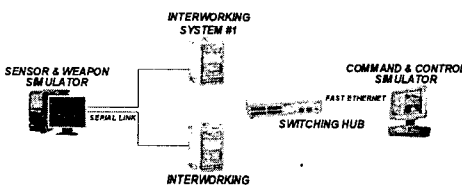


그림 8. 데이터 처리시간과 CPU사용률 시험을 위한 시험 환경

연동 시스템의 데이터 처리 시간에 대한 측정은 간단한 소프트웨어를 사용하였고, CPU 사용률 측정은 VxWorks 운영체제의 개발 툴인 Tornado에서 제공하는 SPY라는 툴을 사용하여 측정하였으며, 실 데이터 생성을 위해 센서체계나 무기체계를 대신할 수 있는 시뮬레이터를 구현하여 시험을 수행하였다 [3].

4.1 시험 결과

데이터 처리 시간은 연동시스템이 부 시스템으로부터 데이터를 받고, 데이터를 처리하고 다시 지휘통제체계로 보낼 때까지의 시간을 측정했으며, CPU사용률은 연동시스템이 동작할 때 SPY툴을 사용해서 전체 10초 동안 1초마다 1000번의 데이터 수집을 통해서 CPU사용률을 측정하였다. 그림 9는 데이터 처리 시간과 CPU사용률 시험에 대한 결과를 나타내는 그림이다.

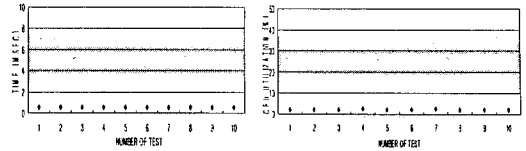


그림 8. 데이터 처리시간과 CPU사용률 시험 결과

시험 결과에서 볼 수 있듯이 추정 결과와 시험 결과와는 약간의 차이가 있지만 추정을 통해 얻은 결과의 처리 시간이 더 길고 CPU 사용률이 더 높음을 알 수 있다. 그 이유는 데이터 처리시간이나 CPU사용률을 추정할 때는 실제로 일어날 확률이 없는 최악의 경우를 고려해서 모든 데이터들에 대한 최대값으로 추정을 하기 때문에 시험결과보다 높게 결과 값들이 나오게 된다. 하지만 시험결과 값과 추정 값의 차이가 크지 않고 추정 결과가 높기 때문에 효율적인 실시간 시스템 개발을 위해 초기 개발 단계에서는 추정 결과만으로 충분히 성능을 만족할 수 있도록 적절한 CPU의 구성을 할 수 있으며, CPU의 기본적인 구성은 심플렉스, 듀얼, 듀플렉스, 멀티프로세싱으로 구성할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 실시간 시스템의 데이터 처리 시간 추정 기법과 프로세서 사용률 추정 기법을 제안하였다. 실시간 시스템은 수행 결과가 기능적으로 정확해야 할 뿐만 아니라 시간의 적시성을 가지는 시스템으로서 새로운 실시간 시스템 개발 시는 반드시 두 성능 요소에 대한 추정을 통해 요구사항을 만족할 수 있도록 중앙처리장치를 적절하게 구성해야 한다. 본 논문에서는 데이터 처리 시간 추정과 CPU 사용률 추정을 위해 분석적 모델링과 OPNET 모델링을 사용 하였으며, 제안된 추정 기법은 대표적인 실시간 시스템 중의 하나인 해군 전투 체계의 연동시스템에 적용 하였고, 추정된 값들은 시험을 통해 얻은 값들과의 비교를 통해 추정 기법의 타당성과 신뢰성을 검증할 수 있었다. 제안된 추정기법의 사용으로 해군전투체계의 시스템 개발 과정에서 시스템 성능 관련 발생할 수 있는 위험 요소(RISK)를 줄일 수 있었고, 성공적인 시스템 개발을 수행할 수 있었다 [6].

향후 제안된 기법을 보다 다양한 실시간 시스템 환경에 적용한 성능 분석 연구가 필요하며, 실시간 시스템을 개발하는 데 있어서 다른 중요한 성능 요소의 성능 추정에 대한 연구가 필요하다.

6. 참고문헌

- [1] Alex Vasilescu, Rick Malencon, "Forecasting CPU Utilization: A Simple Saturation Model in a UNIX Web Applications Server Environment", Int. CMG Conference, pp. 78-83, 1999.
- [2] Alex Vasilescu, "Response Time Performance Modeling for a UNIX Web Transaction Processor Server", Int. CMG Conference, pp. 28-31, 1999.
- [3] Tornado User's Guide 2.0, Edition 1, May 1999.
- [4] http://junsoft.com/perfdoc/perf_cpu.html.
- [5] S. McCanne, C. Torek, "A Randomized Sampling Clock for CPU Utilization Estimation and Code Profiling," 1993 Winter USENIX conference, January 1993.
- [6] IEEE Standard for Application and Management of the System Engineering Process, IEEE Std 1220-1998, December 1998.
- [7] OPNET Modeler V10.5 Modeling Concept, March 2004.