철강공정을 위한 미들웨어 구조 설계

김도훈*, 황화원*, 신기영*, 최자영**, 고재훈***, 김치하***
*포스코 기술연구원 계측제어연구그룹
**포스코 기술연구원 공정솔루션연구그룹
***포항공과대학교 컴퓨터공학과
e-mail:{hunkim,hwawon,skyoung}@posco.com*,{twotype}@posco.com**
{roengram,chkim}@postech.ac.kr***

A Study on Middleware Design for Steel Production

Dohun Kim*, Hwa-won Hwang*, Kee-young Shin*, Ja Young Choi**,
Jaehoon Ko***, Chee-ha Kim***
*Instrumentation and Control Research Group, POSCO
**Process Solutions Research Group, POSCO
***Department of Computer Science and Engineering, POSTECH

요 약

본 논문은 철강공정을 위한 미들웨어 구조를 제시하였다. 제안된 미들웨어는 커널 코어, 철강공정에 필요한 각 서비스 기능, 응용 소프트웨어와의 연결을 유지하는 채널 매니저, 응용 소프트웨어의 서비스 요구를 처리하는 API 핸들러, 미들웨어 사용 API로 구성된다. 제안된 미들웨어는 분산환경을 지원하며, 산업체에서 주로 사용되는 운영체제들을 지원하도록 구현하였다. 제안된 미들웨어에 대해 각 서비스의 성능이 측정되었으나, 지면상 본 논문에는 동기 메시지 서비스, 타이머 서비스의 성능만을 제시하였다. 또한 제안된 미들웨어를 철강공정 중 하나인 열간압연공정에 적용한 결과, 기존 상용 미들웨어를 사용한 환경에 비해 응답시간 성능이 30-35% 향상하였음을 보였다.

1. 서론

공장 자동화 기술은 생산비용 절감, 일관적인 품질관리, 인건비 절감 등을 목적으로 연구가 활발히 진행되고 있는 분야이다. 대규모 장치산업인 철강 산업도 이와 같은 공장 자동화 기술을 사용하여 많은 공정들을 자동화하였고, 중기 계획에 따라 제철소 내 구축된 공장 자동화 시스템은 주기적으로 변경 및 교체가 된다. 그러나 변경 및 교체시 발생하는 응용 소프트웨어 개발에 대한 시간적, 금전적 비용은 생산성 및 제품원가에 영향을 주고 있어, 이를 해결할 수 있는 대안이 필요한 시점이다.

최근 포스코는 세계 유수 철강업체에서도 시도되지 않은 FINEX와 같은 새로운 철강공정들을 연구하고 있다[1]. 따라서 기존의 설비 메이커들에 의존하지 않은 독자설비 개발의 필요성이 높아지고 있다. 이에 따라 조업정보에 대한 보안과 설비 개발능력 보유 측면에서 자체 소프트웨어 개발 환경이 필요해 지고 있다.

본 논문은 철강 제조업의 소프트웨어 개발을 지원하기 위해 철강공정용 미들웨어를 설계하였다. 일반적으로 철강공정을 소프트웨어로 제어하기 위해서는 태스크 관리, 공유메모리, 메시지 통신, 파일관리, 외부통신 및 DB접근, 공유자원 관리, 타이머 관리 등의 기능이 필요하다. 본 논문에서 제안된 철강공정용 미들웨어는 이러한 기능들을 서비스로 제공하며, 각 서비스들은 미들웨어 구성시 동적으로 선택할 수 있도록 설계되었다. 또한 여러 운영체제를 지원하도록 하여 다양한 환경에서 사용할 수 있도록 하였다.

본 논문은 개발된 미들웨어의 유용성을 검증하기 위해 다양한 성능평가를 시행하였으며, 이를 실제 철강공정 중 고속공정인 열간압연공정[2]에 적용하여 낮은 사양의 하드웨어 환경에서도 기존의 상용 미들웨어 환경에 비해 실시간 응답성이 30-35%로 향상되었음을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 설명한다. 3장은 본 논문에서 제안한 미들웨어 구조에 대해 설명한다. 4장은 설계된 미들웨어의 성능평가 결과를 설명한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

철강 산업에서 공정을 관리하기 위한 공장 자동화 시스템 구조는 크게 레벨 0에서 레벨 3로 나눌 수 있다[3]. 레벨 0는 일반적으로 철강플랜트에 직접 설치된 센서, 액추에이터 등의 하드웨어를 의미하며 구조 설명에서 생략되기도 한다. 레벨 1은 레벨 0의 각 센서로부터 수집된 데이터를 기반으로 설정된 동작을 액추에이터에 명령을 내리는 PLC, DCS 등을 의미한다. 레벨 2는 프로세스 제어 컴퓨터라고 하며, 공정의 전체의 흐름을 제어하며 수십 ms 내의 빠른 실시간 응답성이 요구된다. 레벨 3은 비즈니스 컴퓨터라고 하며, 비즈니스상 필요한 공정지시, 실적수집 등을 담당한다. 본 논문에서 제안하는 미들웨어는 레벨 2

의 프로세스 제어 컴퓨터를 대상으로 한다.

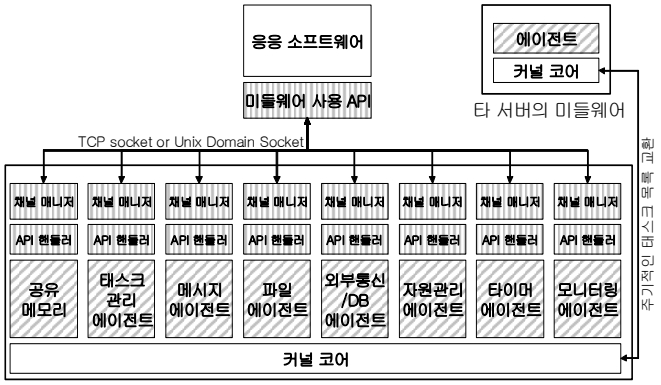
레벨 2의 프로세스 컴퓨터는 주로 서버급 시스템을 사용하며, 서버 벤더에서 제공하는 미들웨어를 사용하여 공정용 응용 소프트웨어를 개발하는 경우가 많았다. 기본적으로 상용 미들웨어는 철강공정에는 불필요한 컴포넌트들이 많아 오버헤드가 클 뿐 만 아니라, 서버 벤더가 바뀔 경우 소프트웨어를 다시 개발하는 비용을 지불해야 한다. 또한 새로운 설비를 개발했을 때 상용 미들웨어에서 이를 지원하도록 수정하는 데에도 비용이 지불된다. 따라서 해외 유수 철강 산업에서는 소프트웨어 개발 비용을 줄이기 위해 자체 개발한 미들웨어를 사용하여 개발비용을 절감하려 노력하고 있다[3,4,5]. 포스코도 이를 위해 마이다스라는 초기 버전의 미들웨어를 스미토모 금속공업[6]과 공동으로 개발하였으나, 서비스 확장성 측면과 열간압연 공정과 같은 고속공정에서 사용하기에는 성능이 부족하다는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서 제안한 미들웨어는 서비스 확장성을 향상하였고, 고속공정에서도 사용할 수 있으며, 여러 운영체제에서도 동작할 수 있도록 설계되었다.

3. 철강공정용 미들웨어 설계

3.1 철강공정용 미들웨어 구조

본 논문에서 제안하는 미들웨어는 철강공정에 필요한 서비스를 고려하여 설계되었다(그림 1). 각 서비스를 제공하는 에이전트들은 미들웨어를 사용하는 공정의 특성에 따라 동적으로 지원하기 위해 프로세스를 기반으로 동작하도록 설계되었다. 또한 각 소프트웨어 모듈의 재사용성을 고려하여 제안된 미들웨어는 C++로 구현되었다.



(그림 1) 제안된 미들웨어 구조

제안된 미들웨어는 크게 커널 코어, 에이전트, API 핸들러, 채널 매니저로 나뉠 수 있다. 커널 코어는 전체 미들웨어의 기동을 담당한다. 에이전트는 철강공정에서 필요한 서비스들을 제공하는 역할을 담당한다. API 핸들러는 응용 소프트웨어로부터 도착한 서비스 요구들을 쓰레드 형태로 관리하며, 서비스 처리와 이에 대한 응답처리을 실질적으로 주관한다. 채널 매니저는 현재 에이전트에 연결된 모든 태스크들과의 채널 정보들을 관리한다. 채널 매니저는 주기적으로 태스크의 연결 상태를 확인하며, 태스크 연결 상태가 불분명할 때는 해당 채널들을 삭제하는 역할을 담당한다. 에이전트, API 핸들러, 채널 매니저는 하나의 프로세스로 구성되며, 각각은 하나의 쓰레드로써 동작하도록 설계되었다.

응용 소프트웨어는 미들웨어의 서비스를 사용하기 위해 미들웨어 사용 API를 이용해야 한다. 미들웨어 사용 API는 C를 이용하여 구현되어 JAVA용 응용 소프트웨어에서도 사용할 수 있도록 하였다. 응용 소프트웨어에서 발생한 서비스 요구가 미들웨어가 탑재된 서버에서 발생했을 경우에는 미들웨어 사용 API에서 자체적으로 분석하여 유닉스 도메인 소켓을 사용하여 서비스를 요청하도록 하였다. 따라서 TCP/IP 프로토콜 오버헤드를 줄이도록 하였다.

제안된 미들웨어는 기본적으로 분산환경을 고려하여 설계되었다. 서로 다른 서버에 위치한 미들웨어들은 각자 관리하고 있는 태스크의 정보를 교환하므로, 각 응용 소프트웨어는 타 서버의 미들웨어를 통해 해당 서버의 서비스를 사용할 수 있다.

3.2 각 에이전트의 기능

본 논문에서 제안하는 미들웨어는 철강공정에서 일반적으로 필요한 서비스들을 제공하고 있다. 제공하고 있는 각 서비스는 다음과 같다.

공유메모리 서비스는 빠른 입출력이 요구되는 환경에서 사용되므로, 유일하게 에이전트 형태로 설계되지 않은 서비스이다. 모든 입출력이 메모리를 기반으로 발생하므로 빠른 성능을 제공한다. 따라서 고속공정에서 파일저장이나 DB 저장 오버헤드가 클 경우 사용한다. 그러나 서버의 메모리 사용량에 따라 제약이 발생할 수 있다.

태스크 관리 에이전트는 미들웨어 서비스를 사용하는 태스크들을 관리하기 위해 사용되며, 주기적으로 각 태스크의 상태를 확인하는 역할을 한다.

메시지 에이전트는 응용 소프트웨어 간에 동기/비동기 메시지를 보내기 위해 사용된다. 동기 메시지를 보낼 경우 응용 소프트웨어는 메시지 수신이 확인될 때까지 대기하게 된다. 비동기 메시지는 수신 태스크에 오류가 발생하더라도 송신된 메시지가 수신될 때까지 시스템 상에 보관할 수 있다.

파일 에이전트는 응용 소프트웨어에서 지정한 형식의 파일 포맷으로 파일 데이터를 저장하거나 검색할 때 사용된다. 철강공정에서는 공정특성상 큐, 스택, 테이블, 키-데이터 등의 형태로 파일 데이터를 사용한다. 따라서 각 파일 포맷을 지원할 수 있도록 설계되어 있다.

외부통신/DB 에이전트는 PLC와 DB 시스템에 데이터를 저장하거나 검색하는 서비스를 제공한다. 본 논문에서 제안한 미들웨어는 PLC와 DB에 상관없이 단순히 get/set이라는 동일한 함수를 통해 데이터 검색/저장이 가능하도록 설계되었다.

자원관리 에이전트는 세마포어를 지원하는 서비스로써

동일한 시스템 자원 접근을 제어하기 위해 설계되었다.

타이머 에이전트는 철강공정에서 주기적으로 이벤트를 발생시켜 공정을 진행하고자 할 때 사용된다. 타이머 에이전트는 운영체제의 타이머 기능을 사용하므로 운영체제의 최소 타이머 값에 영향을 받는다.

마지막으로 모니터링 에이전트는 미들웨어의 상태 및 연결된 모든 태스크들에 대한 정보 서비스를 제공한다. 따라서 응용 소프트웨어 개발 환경에서는 모니터링 에이전트를 통해 현재 시스템 환경을 모니터링하고, 이를 기반으로 응용 소프트웨어 및 미들웨어를 제어할 수 있다.

4. 실험

4.1 구현 및 실험환경

본 논문에서 제안된 미들웨어는 C++로 구현되었으며, 현재 HP-UX, IBM AIX, MS Windows 운영체제를 지원하고 있다. 또한 미들웨어 설치시 설치성공 여부를 확인하기 위해 CppUnit[7]을 사용하는 테스트 기능을 제공하고 있다. PLC와의 통신은 TCP/IP를, DB는 ODBC를 통해 사용할 수 있다.

4.2 미들웨어 성능 측정

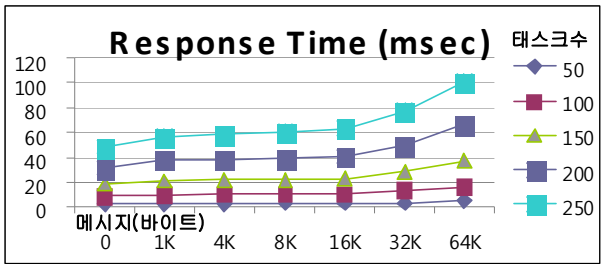
미들웨어 성능을 측정하기 위해 사용된 실험환경은 표 1과 같다. 성능측정은 모든 서비스에 대해 시행되었으나, 지면상 본 논문에서는 동기 메시지 서비스 성능과 타이머 서비스 성능만을 제시하였다.

<표 1> 실험환경

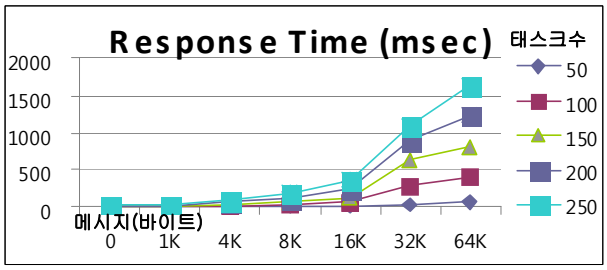
	HP-UX	IBM AIX	Windows
CPU	1.6 GHz×2	4.2 GHz×1	2.4 GHz×1
메모리	4 GB	2 GB	2 GB
Disk	SCSI 130 GB	SCSI 146 GB	SATA 250GB
운영체제	HPUX 11.23 ia64	AIX 5.3 32bit	2003 서버 R2 SP2

동기 메시지 서비스 측정 결과는 모든 플랫폼에 대해 비슷한 경향을 나타내어 HP-UX에서 측정된 데이터만을 제시하였다. 측정방법은 다음과 같다. 휴지시간(Thinking Time)이 없는 태스크의 수를 50개에서 250개까지 변경시키며, 각 태스크가 메시지를 0 B로부터 64 KB까지 동시에 전송했을 때, 응답시간과 동시처리량을 측정하였다. 메시지가 0 B인 경우는 두 개의 태스크 간에 실질적인 데이터 전송없이 데이터에 대한 헤더 정보만을 전송하는 경우로, 최소한의 오버헤드 발생 케이스를 의미한다. 그림 2와 4는 동일 서버 내 태스크간의 측정결과를, 그림 3과 5는 타서버간에 위치한 태스크 간의 측정결과를 나타낸다.

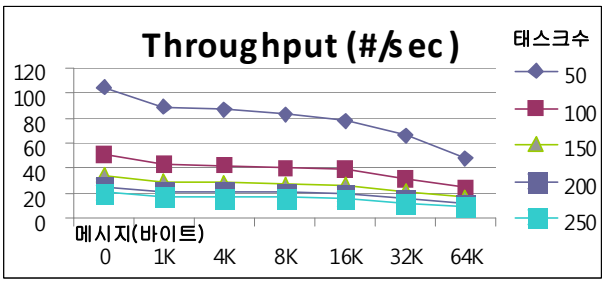
그림 3과 5는 타서버간에 위치한 태스크 간의 동기 메시지 성능이 메시지 전송량이 증가함에 따라 급속도로 성능이 떨어짐을 나타내고 있다. 이는 미들웨어의 오버헤드의 문제가 아닌 네트워크 I/O를 처리하는데 드는 오버헤드 때문임을 1차 원인으로 예상할 수 있다.



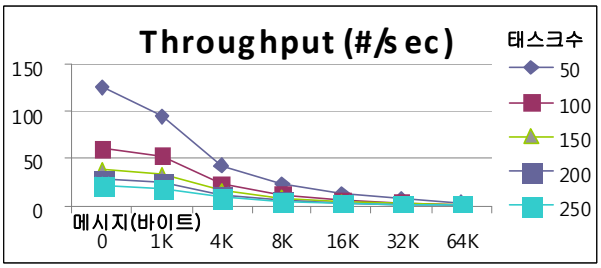
(그림 2) 동일서버 내 동기 메시지 응답시간



(그림 3) 타서버간 동기 메시지 응답시간

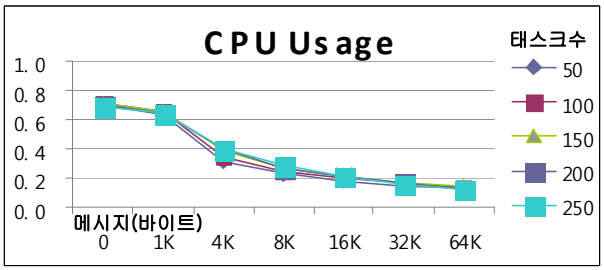


(그림 4) 동일 서버 내 동기 메시지 동시처리량



(그림 5) 타서버간 동기 메시지 동시처리량

그림 6은 미들웨어가 설치된 서버상의 CPU 사용량을 나타낸 것이다. 이로부터 그림 3과 5의 성능급감 원인이 네트워크 I/O처리임을 알 수 있다. 즉, CPU 사용량이 그림 5의 동시처리량의 급감과 연관이 있음을 성능결과로부

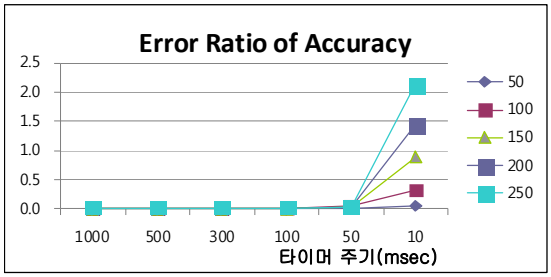


(그림 6) 타서버간 동기 메시지 CPU 사용량

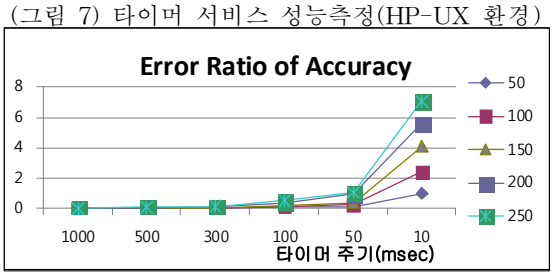
터 알 수 있다.

타이머 서비스 성능 측정 방법은 다음과 같다. 타이머 서비스를 동시에 사용하는 태스크의 수를 50개에서 250개까지 변경시키고, 각 태스크에서 사용하는 타이머 시간을 10 msec에서 1000 msec까지 변경시키며 발생한 타이머 이벤트가 예상된 시간과 얼마나 차이가 나는지 그 비율을 측정한다.

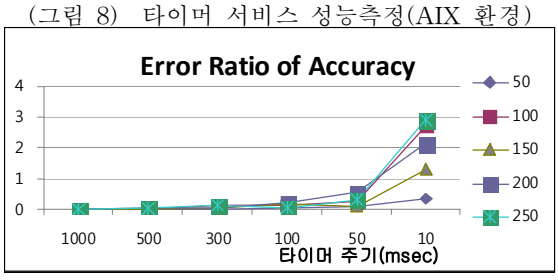
그림 7, 8, 9는 타이머 서비스 성능 측정결과를 나타낸 것이다. 성능결과에서 알 수 있듯이 대체적으로 타이머 서비스는 50 msec까지 유지가 되나 그 이하인 10 msec에서는 대부분의 서비스가 만족되지 않음을 알 수 있다. 이는 기본적으로 사용하고 있는 운영체제가 10 msec단위의 OS 타이머을 지원하지 않을 뿐 만 아니라, 실시간 스케줄링을 지원하지 않기 때문이다. 따라서 향후 타이머 정확성을 향상시키기 위해 본 논문에서 제안한 미들웨어를 실시간 운영체제에도 이식하는 연구가 계획 중이다.



(그림 7) 타이머 서비스 성능측정(HP-UX 환경)



(그림 8) 타이머 서비스 성능측정(AIX 환경)



(그림 9) 타이머 서비스 성능측정(Windows 2003)

4.3 열연 성능

본 논문은 설계된 미들웨어의 실적용성을 평가하기 위해 철강공정에서 가장 고속공정인 열간압연 공정에 적용하였다. 기존 열간압연 공정은 HP-UX BaseStar[8] 미들웨어를 사용하고 있으나, 열간압연 응용 소프트웨어들을 본 논문의 미들웨어를 사용하도록 수정하였다. 이에 따른 성능측정 결과는 표 2에 나타내었다. 성능측정 결과 본 논문의 미들웨어를 사용한 환경에서 30-35%정도 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 특히 기존 열간압연 공정 서버는 1.6 GHz CPU 6개, 12 GB 메모리를 탑재하고 있었으나, 본 논문의 미들웨어는 4.2 GHz CPU 1개, 2 GB 메모리를 탑재한 비교적 낮은 하드웨어 사양에서 성능이 측정되었다. 따라서 본 논문에서 제안한 미들웨어의 성능이 상용 미들웨어에 비해 성능이 우수함을 나타낸다.

<표 2> 기존 열간압연 공정과의 응답시간 성능 비교

	BaseStar	제안된 미들웨어
조압연 설정	152 msec	98 msec
사상압연 설정	37 msec	25 msec
코일권취 설정	20 msec	14 msec

5. 결론 및 향후계획

본 논문은 철강공정을 위한 미들웨어 구조를 설계하였다. 제안된 미들웨어는 커널 코어, 철강공정에서 필요한 각 서비스 기능, 응용 소프트웨어와의 연결을 유지하는 채널 매니저, 응용 소프트웨어의 서비스 요구를 처리하는 API 핸들러, 미들웨어 사용 API로 구성된다. 또한 제안된 미들웨어는 분산환경을 지원하도록 설계되었고, 산업체에서 주로 사용되는 운영체제들을 지원하도록 구현되었다. 제안된 미들웨어에 대해 각 서비스의 성능이 측정되었으며, 이를 실제 철강공정인 열간압연공정에 적용하였을 경우, 기존 상용 미들웨어를 사용한 환경에 비해 30-35% 응답시간 성능이 향상하였음을 보였다.

제안된 미들웨어는 향후 실시간 운영체제 지원 및 안정성 향상을 위한 기법들이 추가로 연구될 예정이다.

참고문헌

[1] 포스코 기술 소개: 파이넥스 공법, 스트립캐스팅, 연연속 압연기술, http://www.posco.co.kr/homepage/docs/kor2/html/product/skill/s91c5000030c.jsp

[2] 포스코 제품 소개: 열연제품, http://www.posco.co.kr/homepage/docs/kor2/html/product/info/s91e3000010c.jsp

[3] N. Sumida and T. Ueno, "Application of Open System to Process Automation in Ironand-steel making" Nippon Steel Technical Report No. 89. Jan. 2004

[4] K. Kawahara, N. Sumida, H. Kato and T. Futsuji Fukushima, "Application of Open System Technology to the Continuous Casting Plant" Nippon Steel Technical Report No. 73. Apr. 1997

[5] JEF Electrical & Control Systems, ""MIDDLESTAR" Middleware for Process Control Computer System" JFE TECHNICAL REPORT No. 10 Dec. 2007

[6] Sumitomo Metals, http://www.sumitomometals.co.jp

[7] Project CppUnit http://sourceforge.net/apps/mediawiki/cppunit/index.php?title=Main_Page

[8] HP OpenVMS Systems Manufacturing software, http://h71000.www7.hp.com/commercial/basestar/