

인터넷 기반 분산 환경에서 시각 동기를 위한 임베디드 시스템

(An Embedded System for Time Synchronization in
Distributed Environment based on the Internet)

황 소 영[†] 유 등 희^{**} 이 기 준^{***}

(So-Young Hwang) (Dong-Hui Yu) (Ki-Joune Li)

요 약 컴퓨터 클럭은 자체의 불안정한 요소, 물리적 특성, 외부 환경의 요인, 사용자의 개입 및 시스템의 오류 요소로 인해 정확도와 안정도에 한계를 갖는다. 따라서 정밀한 시각 관련 처리가 필요한 시스템의 경우 표준 시각에의 동기화가 요구된다. 시각 동기화의 목적은 분산 처리 시스템 상에 전역 시각 기저를 제공하는데 있다. 일단 이러한 시각 기저가 존재하게 되면, 분산 시스템 상에서 처리되는 일련의 작업들은 시각을 바탕으로 제어가 가능하기 때문이다. 본 논문은 인터넷 기반 분산 환경에서 시각 동기를 위한 임베디드 시스템의 설계 및 구현에 대해 제시한다. 시스템은 참조 시각원으로 GPS(Global Positioning System)를 사용하고, NTP(Network Time Protocol)를 통해 표준시(UTC: Universal Time Coordinated)를 제공함으로써 분산 시스템의 시각 동기를 이룬다. 이를 위해 안정적인 시각 유지 및 정확하고 정밀한 표준 시각 제공 요건을 만족하는 클럭 모델을 설계, 적용하였다. 네트워크 관리를 위해 SNMP(Simple Network Management Protocol) 기반 private MIB(Management Information Base)를 정의하였고, 전체 시스템의 구현 및 성능 평가 결과도 제시하였다.

키워드 : 시각 동기, 임베디드 시스템, 클럭 모델, GPS, NTP, SNMP

Abstract A computer clock has limits in accuracy and precision affected by its inherent instability, the environment elements, the modification of users, and errors of the system. So the computer clock needs to be synchronized with a standard clock if the computer system requires the precise time processing. The purpose of synchronizing clocks is to provide a global time base throughout a distributed system. Once this time base exists, transactions among members of distributed system can be controlled based on time. This paper discusses the integrated approach to clock synchronization. An embedded system is considered for time synchronization based on the GPS(Global Positioning System) referenced time distribution model. The system uses GPS as standard reference time source and offers UTC(Universal Time Coordinated) through NTP(Network Time Protocol). A clock model is designed and adapted to keep stable time and to provide accurate standard time with precise resolution. Private MIB(Management Information Base) is defined for network management. Implementation results and performance analysis are also presented.

Key words : time synchronization, embedded system, clock model, GPS, NTP, SNMP

1. 서론

컴퓨터 시스템에서의 시각 메커니즘은 기본적으로 필수적인 요소으로써 현재 시각의 유지 및 시스템의 각종 성능 평가 - 프로세스 점유 시간, 디스크 I/O등 - 를 위한 척도이다. 분산 시스템에서 각종 응용 프로세스들은 시스템 내 여러 노드에서 동시에 수행되며 정확한 결과를 얻기 위해서는 노드 간 시각 동기가 이루어져야 한다. 현재 통신망이 보편적 요소가 되면서 분산 환경

· 본 논문은 산업자원부 지역혁신 인력양성사업의 지원에 의함

[†] 정 회 원 : 부산대학교 전자계산학과
youngox@pusan.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 교수
dhyu@cup.ac.kr

^{***} 정 회 원 : 부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수
lik@pusan.ac.kr

논문접수 : 2004년 7월 15일

심사완료 : 2005년 2월 22일

구성 및 네트워크 기반 운용이 일반화됨에 따라 시각 동기는 필수 사항이 되었다. 동기화된 시각을 유지하기 위해 분산 환경의 각 노드마다 위성 신호를 수신할 수 있는 수신기를 탑재하여 시각 정보를 수신, 유지하는 방법이 있다. 그러나 이는 신뢰성 및 경제적인 측면에서 고려할 만한 해결책이 되지 못한다. 하나의 대안으로 시각 동기 알고리즘을 이용한 소프트웨어 방법을 적용해 볼 수 있다. 네트워크 시각 서버는 시스템의 지역 클럭을 표준 참조 시각원에 동기시킴으로써 정확하고 정밀한 시각을 획득, 유지하고 표준 시각 동기 프로토콜을 통해 시각 정보를 네트워크에 분배한다. 본 논문은 시각 동기를 위한 임베디드 시스템의 설계 및 구현에 대해 제시한다. 시스템은 표준 참조 시각원으로 GPS(Global Positioning System)를 사용하며 NTP(Network Time Protocol)를 통해 표준시(UTC: Universal Time Coordinated)를 분산 환경 각 노드에 제공한다. 또한, 네트워크 관리를 위해 SNMP(Simple Network Management Protocol) 기반 private MIB(Management Information Base)를 정의하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구로 시각 동기의 필요성 및 방법에 대해 다룬다. 3장에서는 인터넷 기반 분산 환경에서 시각 동기를 위한 임베디드 시스템의 설계 요소를 제시하며 특히 클럭 모델과 네트워크 관리 구조에 대해 기술한다. 4장에서는 구현 결과 및 성능 평가를 논하고, 5장의 결론으로 끝을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 컴퓨터 클럭 모델

컴퓨터 클럭은 일반적으로 다음 3가지, 미리 정의된 주파수로 발진하는 수정 발진자, 카운터 레지스터, 상수 레지스터로 구성된다. 상수 레지스터는 수정 발진자의 주파수에 근거해 미리 정해진 상수값을 저장하는데 사용된다. 카운터 레지스터는 수정 발진자의 발진수를 추적하는데 사용된다. 즉, 카운터 레지스터의 값은 수정 발진자의 매 발진마다 1씩 감소하게 된다. 카운터 레지스터의 값이 0이 되면 인터럽트가 발생하고, 카운터 레지스터의 값은 상수 레지스터의 값으로 재설정된다. 각 인터럽트를 가리켜 클럭 틱(clock tick) 이라 한다[1]. 그림 1은 컴퓨터 클럭 모델을 나타낸 것이다.

컴퓨터 클럭은 수정 발진자의 미리 정의된 주파수에 따라 일정 속도로 동작한다. 그러나 수정 발진자는 온도, 습도 등의 환경적 요인으로 인해 발진 주기가 일정하지 않게 되고, 이는 명목상의 주파수로 동작하지 못하는 결과를 초래한다. 이러한 수정 발진자의 물리적 특성으로 인해 임의의 서로 다른 두 클럭은 다른 발진 주기를 갖게 되고, 같은 값으로 초기 시각이 설정되었을 경

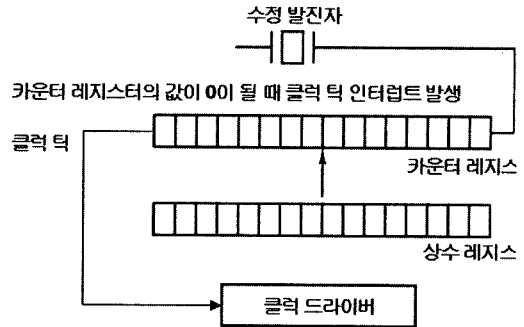


그림 1 컴퓨터 클럭 모델

우라도 이러한 발진 주기 차가 일정 기간 누적될 경우, 두 클럭에 의해 유지되는 시각의 차를 유발시키게 된다. 이처럼 컴퓨터 클럭은 불안정성의 누적, 환경적 요인, 사용자에 의한 변경, 및 시스템 에러 등의 요인으로 인해 정확도 및 정밀도에 한계를 갖게 된다. 따라서 정밀 시각 처리를 요구하는 컴퓨터 시스템의 경우 표준 참조 시각에의 동기화가 요구된다[1,2].

2.2 시각 동기의 필요성

모든 컴퓨터는 컴퓨터 클럭이라 불리는 자체의 시각 기법을 갖고 있으며 이는 현재의 시스템 시각 유지 및 각종 성능 측정의 척도로 활용된다. 즉, 임의 프로세스의 CPU 점유 시간, 디스크 I/O 성능 등을 알아보기 위해서는 정확한 시각 및 정밀한 시각 정보가 필요하게 되고 이를 관리하는 관리자는 이러한 요구에 합당한 관리 및 유지를 해야 한다. 분산 시스템에서 임의의 응용 처리는 시스템 내 다수의 노드에서 동시에 수행되는 여러개의 프로세스로 이루어지며 정확한 결과를 얻기 위해 각 노드들의 클럭은 동기화되어 있어야 한다[1]. 현재 네트워크를 기반으로 한 운용 및 분산 처리가 일반화됨에 따라 네트워크 시각 동기는 필수적인 요소가 되었다. 네트워크 운용은 최적화된 네트워크 성능을 끌어내기 위해 시각 동기화된 정보를 요구한다. 여러 및 장애 복구, 문제점 해결 능력에 시각 동기는 주요 요소가 된다. 즉, 시각 동기 없이 네트워크 프로세스는 동작할 수 없는 것이다. 시각 동기가 직접적으로 영향을 미치는 네트워크 운용 분야는 아래와 같다[3].

- Log file accuracy, auditing and monitoring
- Network fault diagnosis and recovery
- File time stamps
- Directory services
- Access security and authentication
- Distributed computing
- Scheduled operations
- Real-world time value

표 1 사용 가능한 시각원

Time Reference	Source	Precision	특징
GPS Satellite Time Source	1개의 세슘 클럭과 2개의 루비듐 클럭을 탑재	$10^{-11} \sim 10^{-12}s$	지구 어느 곳에서나 최소 6개 이상의 인공위성이 잡혀 고정밀의 시각 정보를 확보할 수 있다.
GOES Satellite Time Service	자체 시각 생성기 없이 NOAA 에서부터 master clock을 받아 중계	us ($10^{-6}s$)	2개의 인공위성이 각각 동반구, 서반구에 위치해서 시각 정보를 방송한다.
Radio Clocks	Atomic Clock	1ms ($10^{-3}s$)	전파전달 조건, 내부 노이즈 레벨 등에 영향을 받는다.
Automated Computer Time Service	인공위성이나 Radio, 또는 직접적인 atomic clock 등과 같은 시각제공장치	수십 ms	네트워크를 통해 제공

2.3 표준 시각의 획득

시각원(Reference Clock)은 표준 시각의 획득 및 시간에 따른 오차를 보정하기 위해 필요하며 외부로부터 도입되어 사용되는 것이 일반적이다. 표 1은 사용 가능한 시각원을 나타낸 것이다.

표에서 보면 환경이나 네트워크의 상태에 민감한 GOES 나 Radio, Computer Time Service와는 달리 GPS 위성은 총 24개로 구성되며 1개의 세슘 클럭과 2개의 루비듐 클럭을 탑재하여 시각 정보를 제공하므로 지구상의 모든 곳에서 자신의 위치와 시각을 알아낼 수 있다[4,5].

2.4 시각 분배

1985년 이후, 시각 동기 프로토콜로 가장 널리 알려져 있고 광범위하게 쓰이고 있는 NTP(Network Time Protocol)가 인터넷 기반으로 등장, 활용되고 있다. 이는 컴퓨터 시스템의 클럭을 라디오, 위성 수신기, 혹은 모델을 통해 외부 참조 시각원에 동기화시키는 것으로 1992년부터는 NTPv3가 널리 쓰이고 있다. 가장 최근의 NTP 버전은 NTPv4로써, 많은 개정이 이루어졌으나 아직 RFC로 공인되지 않은 상태이다. NTP는 인터넷을 통해 네트워크 지연, 오류 요소 등을 분석 관리함으로써 1초 이하의 정확도를 유지하면서 지역 클럭을 동기화시킨다. NTP는 시각 동기를 위해 계층적 설계 기법을 갖고 있으며 트리 구조의 최상위에는 표준 시각을 유지하는 stratum-1 클럭이 있고, 이 stratum-1 클럭을 참조, 동기화시키는 시스템은 stratum-2 클럭이 된다. 이러한 계층 구조는 stratum 16까지 이어진다. 그림 2는 NTP 네트워크 토폴로지의 예를 나타낸 것이다[6-8].

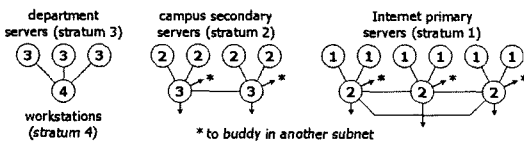


그림 2 NTP 네트워크 토폴로지의 예

3. 시각 동기를 위한 임베디드 시스템

시각 동기를 위한 임베디드 시스템의 설계 고려 사항

은 다음과 같다. (1) 표준 시각을 획득하는 방법, (2) 정확하고 정밀한 지역 클럭의 유지 방법, (3) 시각 정보를 분배하는 방법이다[9]. 본 장에서는 GPS를 통해 표준 시각을 획득하고, 인터넷 기반 분산 환경을 대상으로 시각 정보를 분배하는 시각 동기 시스템을 정의한다. 이는 시각 동기의 요구 조건을 만족시키기 위한 클럭 모델과 네트워크 관리를 위한 private MIB 정의를 포함한다.

3.1 표준 시각 획득 및 분배 구조

시각 동기 시스템은 표준 시각을 획득하는 시각 처리부, 정확하고 정밀한 지역 클럭을 유지하는 timekeeper, 시각 분배를 위한 프로토콜 처리부로 구성된다. 본 연구에서는 경제적 측면과 성능을 고려하여 참조 시각원으로 GPS를 적용하였다. GPS를 참조 시각원으로 이용할 경우 GPS 위성의 오류나 위성 신호의 수신 상태 등이 시스템의 성능에 영향을 끼칠 수 있으나, 이러한 상황은 극히 드물다. 그림 3은 GPS를 참조 시각원으로 하고 시각 분배를 위해 NTP를 적용한 시각 동기 시스템의 동작 구조를 나타낸 것이다. 시스템은 GPS 위성 신호를 처리하는 GPS 엔진과 GPS 엔진을 제어하고 감시하기 위한 관리 태스크가 요구되며 획득한 시각 정보를 유지하기 위한 클럭 모델이 필요하다. 클럭 모델은 다음 절에서 자세히 기술한다.

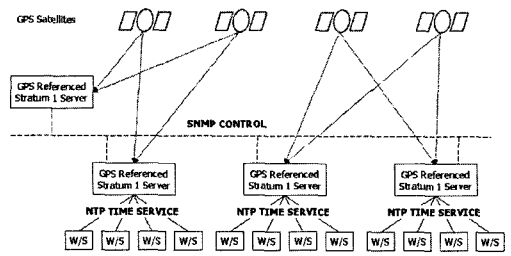


그림 3 GPS 참조 시각 분배 구조

3.2 클럭 모델

시각 동기를 이루기 위한 클럭 모델은 안정적인 시각 유지, 정밀한 해상도를 가진 정확한 표준 시각 제공의 요건을 만족해야 한다. 본 논문에서 제안하는 시각 동기

시스템의 시각 유지 기법을 그림 4에 제시하였다.

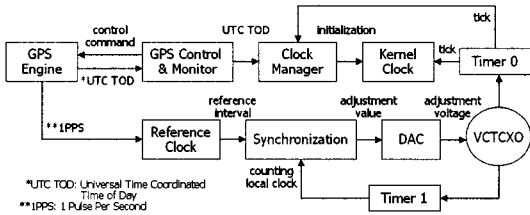


그림 4 클럭 모델

시스템 클럭은 GPS 위성으로부터 획득한 세계 표준 시로 초기화된다. 시스템은 두가지 타이머를 유지하는데, 첫 번째는 NTP를 통한 시각 분배 및 스케줄링, 타이머 시각 관련 함수 등에 관계하는 커널 클럭을 위한 것, 두 번째는 지역 클럭을 참조 시각원인 GPS에 동기화시키기 위한 것이다. 전자는 후자의 타이머에 직접적으로 영향을 받는다. 1초의 시간 간격을 갖는 주기적 신호(1PPS)는 지역 클럭을 동기화시키기 위해 외부 인터럽트를 통해 입력되고, 동기화 모듈은 지역 클럭의 오류치를 분석하기 위한 부분으로, 참조 시각원과 두 번째 타이머를 이용해 시각 보정 값을 계산한다. 계산된 보정 값은 DAC(Digital Analog Converter)를 통해 지역 클럭에 적용되고, 시각 오차를 보정한다.

3.3 네트워크 관리 구조

네트워크 관리는 관리될 대상의 정보가 관리의 기반이 된다. 이러한 정보는 논리적으로 접근 가능해야 하며 이는 관리 정보가 어딘가에 저장되어 있어야 하고 검색 및 변경이 가능해야 함을 의미한다. 이와 같은 목적으로 MIB(Management Information Base)가 제시되었다. MIB는 관리 대상의 정보를 표현하는데 사용되는 객체들의 구조화된 집합체로 SNMP(Simple Network Management Protocol)에서 관리해야하는 정보의 데이터베이스와 같은 것이다[10]. 네트워크에서 관리 대상이 되는 모든 네트워크 자원들은 그들의 상태를 보여주기 위해서 MIB를 유지하고 있어야 한다. MIB가 네트워크 관리 시스템의 요구를 처리하고 상호 운용성을 제공하기 위해서는 공통된 서술법이 요구되는데, 이는 SMI(Structure of Management Information)를 정의함으로써 해결되었다. SMI는 RFC1151에서 처음 제시되었고, 이후 RFC1212, RFC1215로 확장되었다. SMI는 MIB에서 사용될 자료형과 MIB내의 자원들이 어떻게 표현되고 명시되어야 할지를 기술하고 있다. 인터넷 SMI는 MIB내의 각 object를 dot(.)으로 구분되는 정수값의 연속체로 표현하고 있으며 계층적 트리 구조를 이루고 있다. MIB는 표준 MIB와 private MIB로 구분되며 표준 MIB는

연차적 발전에 따라 MIB-1과 MIB-2로 나뉘어진다. Private MIB는 MIB-1, MIB-2에서는 규정되어 있지 않으나, 네트워크 자원이 가지고 있는 독자적 기능을 SNMP에서 관리할 수 있도록 정의한 관리 항목이다 [11-13].

본 연구에서 시각 동기를 위한 임베디드 시스템 개발은 인터넷 기반 분산 환경을 대상으로 하였다. 따라서 표준 MIB의 수용과 시스템의 독자적 기능에 따른 private MIB의 정의가 필요하다. 이를 위해 대상 시스템의 private MIB를 5개의 관리 그룹으로 구성하여 정의하였으며, 각 그룹의 object들은 다음의 내용을 포함하고 있다.

- system: 대상 시스템의 요약 정보
- ntp: NTP의 동작 모드, 버전, 처리한 패킷의 수 등 프로토콜에 종속된 정보
- clock: 대상 시스템 클럭 (local oscillator)의 정보
- gps: GPS 엔진의 정보 및 동작 상태
- etc: 그 외의 부가 정보

그림 5는 대상 시스템에서 관리되는 표준 MIB 및 private MIB의 계층 구조를 나타낸 것이다.

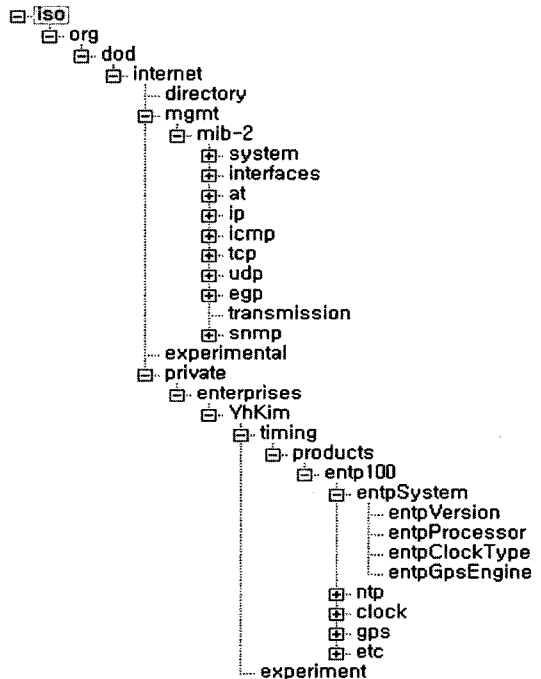


그림 5 MIB 구조

네트워크 관리 프로토콜은 관리 스테이션(management station)과 관리 대상 시스템(agent)을 상호 연계시키며

이를 위한 관리 정보의 검색 및 변경에 *get*, *set* 명령어를 쓴다. *Trap*은 예외 작동을 통지하는 것으로 관리 스테이션의 명령 없이 agent에서 발생하여 관리 스테이션에 통보 된다. 본 임베디드 시스템에서는 정확하고 정밀한 시각 유지에 영향을 끼치는 동작 상태를 알리기 위해 3가지 trap을 정의하였다. 구성된 trap 메시지는 아래와 같다.

```
ntpLeapChange TRAP-TYPE
  ENTERPRISE ntp
  VARIABLES {ntpLeapIndicator}
  DESCRIPTION "The trap indicates a change in state
    of the ntp leap It will pass the new value of
    the leap indicator."
  ::= 0

clockHoldoverTrap OBJECT-TYPE
  SYNTAX INTEGER
  ACCESS read-write
  STATUS mandatory
  DESCRIPTION "enable or disable hold-over trap generation"
  ::= {clock 8}

clockTrackTrap OBJECT-TYPE
  SYNTAX INTEGER
  ACCESS read-write
  STATUS mandatory
  DESCRIPTION "enable or disable hold-over trap generation"
  ::= {clock 9}
```

다음은 표준 SMI와 object identifier scheme을 이용해 시각 동기 시스템의 MIB를 정의한 것으로, 그 일부를 나타낸 것이다.

```
YHKIM DEFINITIONS ::= BEGIN

IMPORTS
  OBJECT-TYPE
  FROM RFC-1212
  DisplayString
  FROM RFC1213-MIB
  TRAP-TYPE
  FROM RFC-1215
  enterprises
  FROM RFC1155-SMI;

YhKim      OBJECT IDENTIFIER ::= {enterprises 5499}

timing      OBJECT IDENTIFIER ::= {YhKim 1}
experiment OBJECT IDENTIFIER ::= {YhKim 99}

products   OBJECT IDENTIFIER ::= {timing 1}

entp100    OBJECT IDENTIFIER ::= {products 1}

entpSystem OBJECT IDENTIFIER ::= {entp100 1}
ntp        OBJECT IDENTIFIER ::= {entp100 2}
clock      OBJECT IDENTIFIER ::= {entp100 3}
gps        OBJECT IDENTIFIER ::= {entp100 4}
etc        OBJECT IDENTIFIER ::= {entp100 5}
```

```
entpVersion OBJECT-TYPE
  SYNTAX DisplayString
  ACCESS read-only
  STATUS mandatory
  DESCRIPTION "entp system version"
  ::= {entpSystem 1}
```

4. 구현 및 성능 평가

4.1 시각 동기를 위한 임베디드 시스템의 구현

시스템 구현을 위한 플랫폼은 Advanced RISC Machines, Ltd.(ARM)에 의해 개발된 범용 32-bit ARM7TDMI 마이크로 프로세서를 대상으로 하였다 [14]. 프로세서의 핵심 구조는 Reduced Instruction Set Computer(RISC) 기법을 기반으로 하고 있다. 여기에 네트워킹을 위한 이더넷 인터페이스와 지역 클럭 보정을 위한 GPS 엔진 및 VCTCXO(Voltage Controlled Temperature Compensated Crystal Oscillator)를 탑재하였다. 시스템 구조는 그림 6, 그림 7과 같다.

소프트웨어 계층에서는 표준 시각 동기 프로토콜로써 NTP를 적용하였고, 대상 시스템의 네트워크 관리를 위해 SNMP(Simple Network Management Protocol)를 채택,

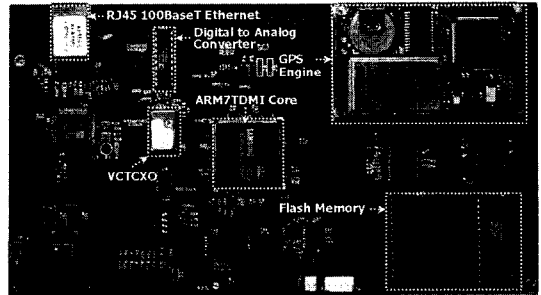


그림 6 하드웨어 구조

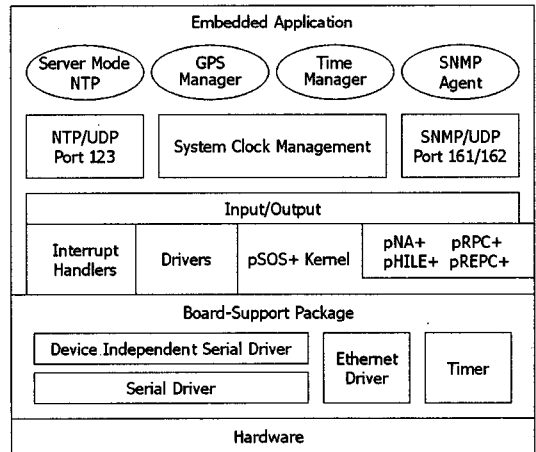


그림 7 소프트웨어 구조

이를 위한 MIB(Management Information Base)를 설계 구현하였다. GPS 관리자(GPS Manager)는 GPS 엔진 제어 및 감시의 역할을 하며 시각 관리자(Time Manager)는 표준 시각의 획득 및 참조 시각원에 지역 클럭을 동기화시키는 기능을 담당한다. 메인 시스템과 GPS 엔진은 RS-232C 시리얼 통신으로 연결되고 GPS 엔진은 매 1초 간격으로 위치, 상태, 날짜 및 시각 메시지를 발생시킨다. GPS 메시지 형식은 그림 8과 같다.

0	8	16	24	31
header (4 bytes)				
year	hours	minutes	seconds	
fractional second				
latitude				
longitude				
ellipsoid height				
not used				
velocity		heading		
current DOP		DOP type	num of visible sats	
number of satellites tracked (1 byte)				
satellite ID	channel tracking mode	carrier to noise density ratio	channel status flag	x 8
receiver status flag	checksum			
				76 bytes (total)

그림 8 GPS 메시지 형식

제안된 클럭 모델의 구현은 아래와 같다. 시스템 클럭과 시각 분배를 위한 NTP 클럭은 GPS 참조 시각원에 동기하여 초기화된다. 이후부터 시스템은 1PPS 참조 시각 신호를 통해 자신의 지역 클럭 주파수를 계수하고, 시각 오류치를 파악하여 보정한다.

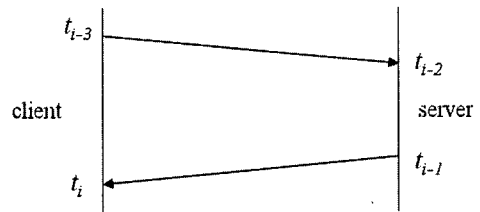
```

1PPS_external_interrupt_service_routine
if (tracking_flag == system_init) then
    system_clock_init();
    ntp_clock_init();
    flag_change;
end if;
if (tracking_flag == analyze_local_clock_error) then
    local_osc_frequency_count;
    accumulate_frequency_error;
    if (frequency_error_accumulated > HIGH_ERROR_BOUND ||
        frequency_error_accumulated <
        LOW_ERROR_BOUND) then call
        clock_adaption_procedure;
    else continue;
    end if;
end if;
end.
    
```

4.2 성능 평가

구현한 시스템의 성능 평가를 위해 표준 NTP query 프로그램인 ntpq를 활용하였다. Ntpq 유틸리티 프로그램은 NTP 서버에 질의를 보내기 위해 사용된다[15]. NTP는 선택된 참조 클럭으로부터 지역 클럭의 시각 차

(clock offset), 일주 지연(round-trip delay), 분산(dis-persion)을 유도해 내도록 설계되어 있다. 시각 차는 기준 클럭과 비교하여 로컬 클럭이 정정되어야 할 양을 나타낸 것이다. 일주 지연은 기준 클럭 메시지가 송신되고 다시 수신될 때까지 도착하는데 걸리는 시간을 말하며 분산은 기준 클럭에 대한 로컬 클럭의 최대 오류를 나타낸다.



각각의 참조 시각 서버에 대해 개별 일주 지연 및 시각 차를 구하기 위해서 시각 소인(time stamp) 값이 교환된다. 임의의 짝의 정수 i 에 대해 t_{i-3} , t_{i-2} , t_{i-1} , t_i 를 서버와 클라이언트 간에 교환된 가장 최근의 시각 소인 값이라 하면 일주 지연 δ_i 와 시각 차 θ_i 는 다음과 같다 [16].

$$\delta_i = (t_i - t_{i-3}) - (t_{i-1} - t_{i-2}),$$

$$\theta_i = \frac{(t_{i-2} - t_{i-3}) + (t_{i-1} - t_i)}{2}$$

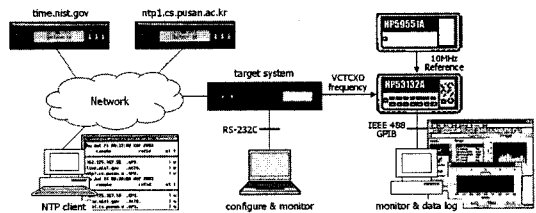


그림 9 실험 환경

대상 시스템의 성능 평가를 위한 실험 환경은 그림 9와 같다. 지역 클럭의 안정도 및 정확도를 측정하기 위해 전자 계수기인 HP53132A 범용 카운터를 사용하였고, 이 범용 카운터의 성능을 향상시키기 위해 참조 클럭 소스로 HP59551A GPS 동기 모듈을 적용하였다 [17,18]. 범용 카운터의 측정값을 기록하기 위해 IEEE 488 GPIB 인터페이스를 가진 PC를 구성하였으며, 이는 대상 시스템 감시 및 측정 데이터 기록의 역할을 한다. NTP 소프트웨어가 설치된 리눅스 워크스테이션은 구현된 시각 동기 시스템과 미국 표준화 협회(NIST)의 시각 서버를 포함한 2개의 공용 시각 서버를 통해 지역 클럭을 동기화시키고, 구현된 시스템의 정확도를 분석하

는 역할을 한다.

대상 시스템의 지역 클럭 주파수 측정 결과를 그림 10에 나타내었으며, 이 결과는 약 $\pm 0.5\text{Hz}$ 의 주파수 오차를 가지고 원래 클럭이 동작해야 하는 명목상 주파수 값에 근접해 감을 보여준다. 앞서 언급했듯이 시스템 클럭으로 동작하는 수정 발진자는 명목상의 주파수를 갖고 있지만, 물리적 특성 및 온도, 습도 등의 환경적 요인으로 인해 그 주파수를 유지하지 못하게 된다. 즉, 미리 정의된 주파수 값을 얼마나 잘 유지하느냐에 따라 시스템 클럭의 정확도 및 안정도가 결정되는 것이다.

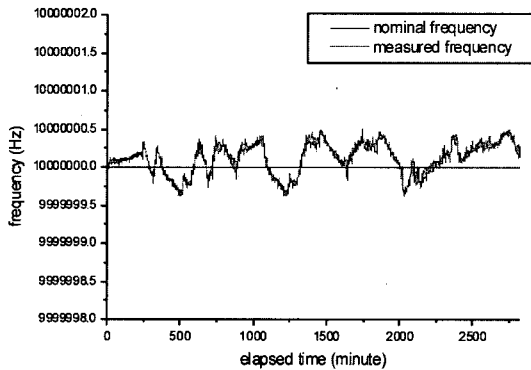


그림 10 주파수 측정 결과

다음 그림 11, 그림 12는 NTP 클라이언트 시스템과 개별 시각 서버와의 시각 차 및 분산의 변동을 나타낸 것으로 대상 시스템의 정확하고 안정된 동작의 모습을 보여준다.

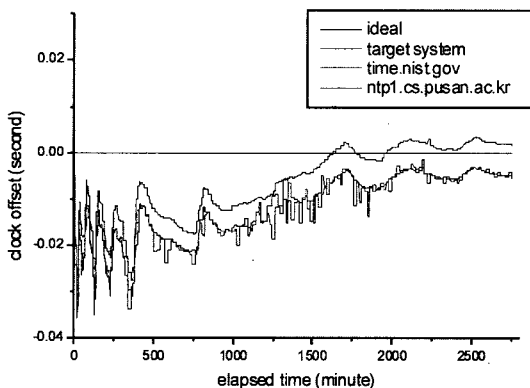


그림 11 시각 차 변동

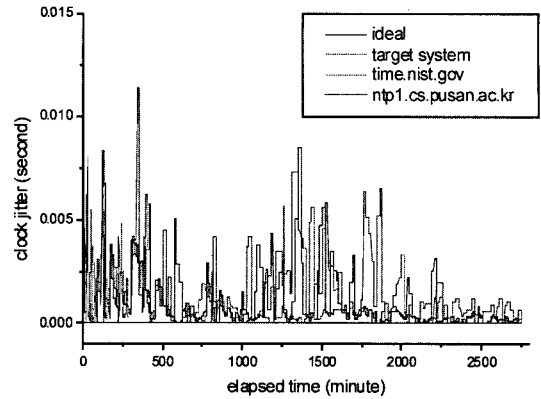


그림 12 분산의 변동

5. 결론

컴퓨터 클럭은 자체의 불안정한 요소, 물리적 특성, 외부 환경의 요인, 사용자의 개입 및 시스템의 오류 요소로 인해 정확도와 안정도에 한계를 갖는다. 따라서 정밀한 시각 관련 처리가 필요한 시스템의 경우 표준 시각에의 동기화가 요구된다. 시각 동기화의 목적은 분산 처리 시스템 상에 전역 시각 기저를 제공하는데 있다. 일단 이러한 시각 기저가 존재하게 되면, 분산 시스템 상에서 처리되는 일련의 작업들은 시각을 바탕으로 제어가 가능하기 때문이다. 예를 들어 실시간 제어 시스템에서 공유 데이터 관리의 경우, 각 프로세서의 클럭이 동기화되어 있다면 각 시각 값에 의거하여 간단하게 처리할 수 있는 것이다.

본 논문에서는 인터넷 기반 분산 환경에서 시각 동기를 위한 임베디드 시스템의 설계 및 구현을 제시하였다. 대상 시스템은 GPS 참조 시각원을 통해 정확하고 정밀한 표준 시각을 획득하고, 지역 클럭을 참조 시각원에 동기화시킨다. NTP를 통해 인터넷 분산 환경하의 각 처리요소에 표준 시각 정보를 분배하며 SNMP 기반 네트워크 관리 기능을 제공한다. 시스템 구현 결과 및 성능 분석이 제시되었으며, 향후 연구 과제로 보다 정확하고 정밀한 시각 유지를 위한 지역 시각 보정 모델 및 기법에 대한 연구가 요구된다. 뿐만 아니라 무선 센서 네트워크에서도 시각 동기화에 대한 광범위한 요구가 제기되고 있다[19]. 이러한 요구에 부응한 기존의 시각 동기 기법의 수정 및 확장이 필요하다.

참고 문헌

[1] P.K. Sinha, "Distributed Operating Systems: Concepts and Design," IEEE Computer Society, pp. 282-292, 1997.
 [2] S.M. Jun, D.H. Yu, S.Y. Seong, and Y.H. Kim, "A

time synchronization method for NTP," 6th IEEE International Conference on Real-Time Computing Systems and Applications, pp. 466-473, 1999.

- [3] P. Skoog, "The Importance of Network Time Synchronization," TrueTime, Inc.
- [4] H.C. Berns, R.J. Wilkes, "GPS time synchronization system for K2K," IEEE Transactions on Nuclear Science, Volume: 47, Issue: 2, Part: 1, pp. 340-343, 2000.
- [5] W. Lewandowski, J. Azoubib, W.J. Klepczynski, "GPS: primary tool for time transfer," Proceedings of the IEEE, Volume: 87, Issue: 1, pp. 163-172, 1999.
- [6] David L. Mills, "A brief history of NTP time: memoirs of an Internet timekeeper," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Volume: 33, Issue: 2, pp. 9-21, April 2003.
- [7] J. Levine, "Efficient time transfer using the Internet," Proceedings of Frequency Control Symposium and PDA Exhibition, pp. 522-529, 2002.
- [8] N. Minar, "A survey of the NTP network," MIT Media Lab., 1999.
- [9] 유동희, 황소영, 성순용, 김영호, "Network Time Server 오류 요소 분석," 제7차 GNSS 워크샵 논문집, pp. 159-162, 2000.
- [10] 황소영, 유동희, 김영호, "네트워크 임베디드 시스템을 위한 MIB 정의 방안," 한국정보과학회 2000년 가을학술발표논문집(III), 제27권, 제2호, pp. 186-188, 2000.
- [11] W. Stallings, "SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMON1 and 2," 3rd Edition, Addison Wesley, 1999.
- [12] W. Stallings, "SNMP and sNMPv2: The Infrastructure for Network Management," IEEE Communications Magazine, March 1998.
- [13] J. Li, B. J. Leon, "A Formal Approach to Model SNMP Network Management Systems," 4th International Conference on Computer Communications and Networks Proceedings, 1995.
- [14] SAMSUNG KS32C50100 Microcontroller User's Manual, 1999.
- [15] NTPv4.1.72 User Manuals.
- [16] D. Mills, "Network Time Protocol (Version 3) Specification, Implementation and Analysis," RFC1305, 1992.
- [17] HP 58503B and HP 59551A GPS Receivers Operating and Programming Guide, 58503-90013, Hewlett Packard.
- [18] HP 53131A/132A 225MHz Universal Counter Operating Guide, 53131-90055, Hewlett Packard.
- [19] J. Elson, D. Estrin, "Time synchronization for wireless sensor networks," Proceedings of the International Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 1965-1970, 2001.



황 소 영

1999년 부산대학교 전자계산학과 졸업(학사). 2001년 부산대학교 전자계산학과 졸업(석사). 2001년~현재 부산대학교 전자계산학과 박사과정. 관심분야는 시각 동기, 센서 네트워크, 임베디드 시스템, GPS 응용



유 동 희

1992년 부산대학교 전자계산학과 졸업(학사). 1994년 부산대학교 전자계산학과 졸업(석사). 2001년 부산대학교 전자계산학과 졸업(박사). 1997년 한국전자통신연구원 연구원. 2001년~2002년 이김전자부설 연구소장. 2002년~현재 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 조교수. 관심분야는 인터넷 시각 동기, 위치기반서비스, GPS, 홈네트워킹, 멀티미디어통신시스템



이 기 준

1984년 서울대학교 계산통계학과 졸업(학사). 1986년 서울대학교 계산통계학과 졸업(석사). 1992년 프랑스 국립 응용 과학원(INSA) 전자계산학과 졸업(박사). 1990년~1991년 프랑스 Logicim사 선임 엔지니어. 1993년~현재 부산대학교 정보 컴퓨터공학부 부교수. 관심분야는 시공간데이터베이스, 텔레메틱스, 유비쿼터스 컴퓨팅