

정밀 시각을 위한 오류 요소 분석 및 일반 PC에서의 측정 방법

송정애⁰ 김종성 황소영 김영호

부산대학교 전자계산학과
{jasong, jsungkim, youngox, yhkim}@juno.cs.pusan.ac.kr

Error Factors for Precise Time and Measurement Method on PC

Jung-ae Song⁰ Jong-sung Kim So-young Hwang Young-ho Kim

Dept. of Computer Science, Pusan National University

요 약

일반 컴퓨터 시스템에서 CPU 이용률이나 디스크 입출력 같은 프로세스에 의해 소요되는 시간 계산이나 빈번한 스크린 갱신을 요구하는 어플리케이션에서 시각을 제공하는 시각 장치의 정확성과 정밀도는 매우 중요하다. 그러나 컴퓨터 시각 장치들의 자체 오류 요소로 인해 이런 높은 정확성과 정밀도를 요구하는 시간관련 어플리케이션을 만족시키지 못한다. 컴퓨터 시스템에서 보다 정확하고 정밀한 시간을 측정하기 위해서는 시각 장치의 정확성과 정밀도가 우선, 보장되어야 하고 그러기 위해서는 시각 장치들의 정밀도를 떨어뜨리는 오류 요인에 대한 분석이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 일반 컴퓨터 시스템의 시각 장치들에서 나타나는 오류 요소들을 알아보고, 일반 PC에서 정밀하게 측정하는 방법론을 제시하고자 한다.

1. 서론

일반 컴퓨터 시스템에서 CPU 이용률이나 디스크 입출력 같은 프로세스에 의해 소요되는 시간 계산이나 잦은 스크린 갱신을 요구하는 어플리케이션을 지원하기 위해서는 시각을 제공하는 시각장치들의 정확성과 정밀도가 뒷받침이 되어야지 신뢰할 수 있을 결과를 얻을 수 있다. 그러나, 현재 일반 PC에서 시각장치들의 정확성과 정밀도는 이를 만족시키지 못한다. 따라서 일반 PC에서의 시간 관련 연산이 신뢰 할 수 없게 되는 것이다. 이를 보완하기 위해서 시각 장치들의 정확성과 정밀도 향상 기법들이 연구되어야 한다. 항상 기법을 연구하기에 있어서는 시각 장치 오류 요소들에 대한 분석이 선행되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 일반 PC에서 정밀 시각을 제공하기 위한 시각 장치들에서 나타나는 오류 요소들을 알아보고, 이런 시각 오류 요인을 일반 컴퓨터 상에서 정밀하게 측정하는 방법론을 제시하고자 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 일반 컴퓨터에서 시각을 제공하는 시각 장치의 구조와 각 장치에서 일어나는 시각 오류 요인에 대해서 알아본다. 3장에서는 여러 오류 요소들을 PC에서 보다 정밀하게 측정하는 방법에 대해서 제시하고, 4장에서는 그 방법론을 일반 컴퓨터에서 시각 생성 원천이 되는 수정 발진자 측정에 적용한 예를 보인다. 그리고 결론과 향후 계획으로 논문을 맺는다.

2. 일반 PC의 시각 장치 구조와 시각 오류 요인

2.1 PC의 시각 장치 구조

일반 컴퓨터 시각 장치는 수정 발진자, 분주기, 타이머, 그리고 클릭 드라이버로 구성된다. 수정 발진자는 시각 장치의 시각 유지를 위해 기본 주파수를 생성하고, 분주기에서 기본 시각 단위로 만들기 위해 분주 된다. 이렇게 분주된 주파수는 타이머에서 다시 한 번 분주 된다. 타이머는 클릭 카운터와 시정수를 가진 레지스터로 구성되며, 분주기에 의해 분주된 주파수는 클릭 카운터에 입력되어 역계수되며, 계수값이 0이 되는 순간 인터럽트가 발생된다. 클릭 턱은 이 인터럽트에 의해 전달되며, 시스템 버스를 통해 클릭 드라이버로 전달된다. 그 후, 계수값은 시정수로 다시 자동 설정되며, 역계수가 계속된다. 클릭 드라이버는 전달받은 클릭 턱의 주기를 시스템의 기본 시간 단위로 하며, 이 것으로 시스템의 시간을 유지한다. 따라서 어떤 어플리케이션이 시스템에 대한 시각 정보를 요구하게 되면, 클릭 드라이버가 유지하고 있는 클릭 턱 계수를 제공한다. 윈도우즈에서는 이를 이용해 시각을 제공해 주는 API로 `GetTickCount()`, `QueryPerformanceCounter()` 등이 있다. 어플리케이션에 정확하고 정밀한 시간을 제공하기 위해서는 시각 생성의 근원이 수정 발진자부터 클릭 드라이버 레벨까지 시각장치들의 정확성과 정밀성이 보장되어 주어야 한다[1][2][6].

2.2 일반 PC의 시각 오류 요인

2.2.1 수정 발진자

일반 컴퓨터 시스템에서는 비용상의 문제로 고성능의 수정 발진자를 사용하지 않고, 주위 환경에 그대로 노출되어 주파수 오차를 가지는 수정 발진자를 사용한다. 즉, 일반 컴퓨터에서 사용하고 있는 수정 발진자는 온도, 습도, 기압, 진동과 같은 환경 요인과 자체 노화로 인한 오차요인으로 오프셋을 가진다. 이런 수정 발진자의 불안정성에 의한 부정확성은 많은 시간 관련 연산과 처리가 요구하는 수준에 적합하지 않게 된다. 발진자의 주파수 안정도에 대해 조사하기 위해서는 임의의 시간 t 에서의 출력 전압을 다음과 같이 가정 할 수 있다.

$$V(t) = [V_0 + \epsilon(t)] \sin[2\pi v_0 t + \phi(t)] \quad (1)$$

여기서 V_0 명목 최대 전압, $\epsilon(t)$ 는 명목 전압으로 부터의 시간에 따른 전압 변화량, v_0 명목 주파수, $\phi(t)$ 는 명목 위상으로부터의 시간에 따른 위상 변화량이며, 일반적으로 정밀한 발진자라면 $|\frac{\epsilon(t)}{V_0}| \ll 1, |\frac{\phi(t)}{2\pi v_0}| \ll 1$ 이다.

따라서, 실제 일반 보통 컴퓨터 시스템에서는 $V_0 = 5V$, 그리고 $v_0 = 14.318MHz$ 이므로

$$V(t) = [5V + \epsilon(t)] + \sin[2\pi(14.318MHz)t + \phi(t)] \quad (2)$$

식(2)에서 이상적으로는 " $\epsilon(t)$ "와 " $\phi(t)$ "가 모든 시간에 대해 0이어야한다. 하지만 실제로는 그러한 완전한 발진기는 존재하지 않는다. 그러므로, 이러한 잡음 성분 " $\epsilon(t)$ "와 " $\phi(t)$ "의 성질을 조사하는 것이다. 그러나 보통의 경우에 발진자에서는 " $\epsilon(t)$ "는 거의 무시 할 수 있으므로 " $\phi(t)$ "의 성질을 조사한다. 이를 알면 주파수의 오프셋을 추정할 수 있고, 이는 곧 주파수의 안정도도 알 수 있다[3].

2.2.2 분주에 의한 계산 오차

윈도우즈 시스템의 경우에는 현재 시각은 시스템이 시작 이후 현재까지 타이머에 입력된 클럭의 계수가 된다. 시스템 시각은 다음 식(3)에서 구할 수 있다.

$$T(t) = \frac{C(t)}{1193} [ms] \quad (3)$$

절대시간 t 에서 현재 시스템의 시각은 현재까지 계수한 tick $C(t)$ 에서 1193을 나눈 것으로서 ms단위의 시각으로 구해진다. 여기서 $T(t)$ 의 값은 앞 절에서 살펴 본 수정 발진자 자체가 일으키는 오차가 누적되어 나타나는 누적 오차뿐만 아니라 계산 과정에 의한 오차가 있다. 이는 $C(t)$ 를 1193으로 나눌 때 발생한다. 수정 발진자의 주파수 14.318MHz가 12분주하여 타이머에 입력된 주파수에 의하면 1193.167 틱을 1ms으로 정의해야 하지만, 시스템에서는 소수점 이하를 버리고 1193 틱을 1ms으로 정의하고 있기 때문에 계산 오차가 발생한다[6].

2.2.3 Clock Tick

보통 타이머에서 전달받은 클럭 틱 주기를 시스템의

기본 시간 단위로 한다. 따라서 시스템 시간의 정밀도는 클럭 틱 주기의 안정성과 밀접한 관계가 있다. 따라서, 어떤 프로그램에 의해 클럭 틱 주기의 변화가 발생하는 경우 프로그램 시각 유지 능력은 상당히 떨어지게 된다. 그리고 시스템 시간의 정밀도와 해상도를 높이기 위해서는 클럭 틱 구간의 값이 작을수록 좋지만 클럭 틱의 발생 횟수를 증가시키는 것은 프로세서 인터럽트의 증가를 의미한다. 즉, 잦은 인터럽트는 시스템 쓰래싱(Trashing)을 발생시켜 컴퓨터 시스템의 성능 저하 요인이 된다. 그러므로 정밀한 컴퓨터 시스템의 시각 정보를 제공하기 위해서는 신중하게 클럭 틱 주기를 정해야 한다[7].

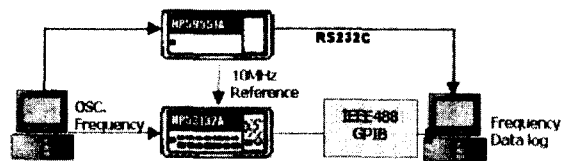
2.2.4 Interrupt latency



[그림 1] 타이머 인터럽트 핸들링

클럭 틱 주기가 안정적이라고 하더라도 클럭 틱이 하드웨어 인터럽트의 형태로 인터럽트 컨트롤러로 전달되고, 인터럽트 컨트롤러는 프로세서에게 타이머 인터럽트가 있었음을 알리게 된다. 이런 하드웨어 인터럽트 프로세싱 과정에서 하드웨어 인터럽트 시그널과 핸들러의 실행 사이에 Interrupt latency는 지연이 생기게 된다. 일반 범용 운영체제에서는 [그림 1]과 같이 일정 시간마다 발생하는 하드웨어 인터럽트인 타이머 인터럽트 시그널과 핸들러 실행 사이에 일정치 않은 지연이 생긴다. 이런 일정치 않은 지연은 timer interrupt의 loss를 야기 시키기도 한다. 즉, Interrupt latency 시간을 예측하기 힘들게 되어, 리얼타임 응답에 대한 보장을 하지 못 한다. 뿐만 아니라 실시간성이 떨어지고 정밀도에서 나쁜 영향을 미치게 된다. 윈도우즈 시스템의 경우에는 이런 리얼타임 응답에 대해서 보장을 하지 못하는 원인으로 VMM(Virtual Machine Management)과 VPICD(Virtual Programmable Interrupt Controller Device) 핸들러의 멀티플 계층과 링 전이 등으로 들고 있다[5].

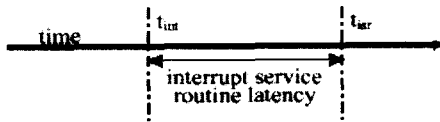
3. PC에서 시각 오류 요소 측정 방법



[그림 2] 정밀 시각 측정 방법

일반 PC에서 언급한 시각 장치들의 정밀도를 측정하는 방법은 다음과 같다. 우선, 수정 발진자와 분주기의 주파수 측정은 HP53132A 주파수 카운터와 주파수 카운

터의 참조 시각원으로 안정도와 정밀도가 높은 더 높은 HP59551A를 사용한다. 컴퓨터 시스템 수정 발진자의 입력 전압은 5V를 유지하고, 주파수 카운터를 통해 매 1초 간격으로 시스템 오실레이터의 주파수를 측정하고, 측정된 주파수 값은 IEEE488 GPIB 인터페이스를 통해 또 다른 펜티엄 PC에 데이터가 수집 저장한다[8]. 그리고 clock tick 주기를 측정하기 위해서는 매 타이머 인터럽트 발생시 INT 50h에 인터럽트 주기를 측정하는 루틴을 삽입한다. 그리고 이를 보다 정밀하게 측정하게 위해서는 펜티엄 PC의 데이터를 시각 소인용 장치 HP 59551A의 버퍼에 저장하게 위해 커넥터로 연결하고, HP59551A의 데이터를 추출하는 윈도우용 Application을 실행하기 위해 또 다른 펜티엄 PC와 RS232C로 연결한다. 이를 통해 측정 시스템의 로그내용과 HP59551A의 time tagging 데이터를 기초로 시각 분석이 가능하다.



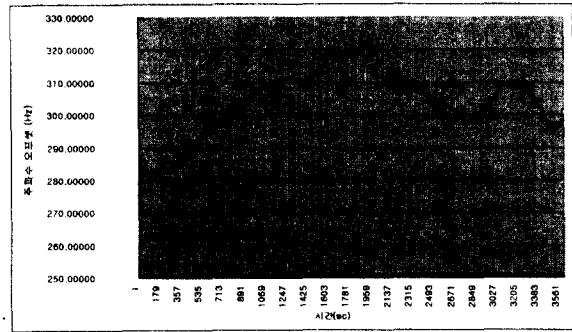
[그림 3] 인터럽트 지연 측정

[그림 3]에서 설명하는 것과 같이 인터럽트 지연을 측정하기 위해서는 $t_{int} \rightarrow t_{isr}$ 시간을 측정한다. 즉, 특정 하드웨어 인터럽트에 의한 IRQ 입력 시점(t_{int})부터 인터럽트 서비스 루틴이 실행을 시작하는 순간(t_{isr})의 시간을 측정한다. 이를 측정하기 위해서는 외부 하드웨어 타이머를 사용하거나, 펜티엄 프로세서의 경우에는 시간 측정을 위해 제공하는 두 개의 펜티엄 이벤트 카운터를 사용하여 인터럽트 지연 측정을 할 수 있다.

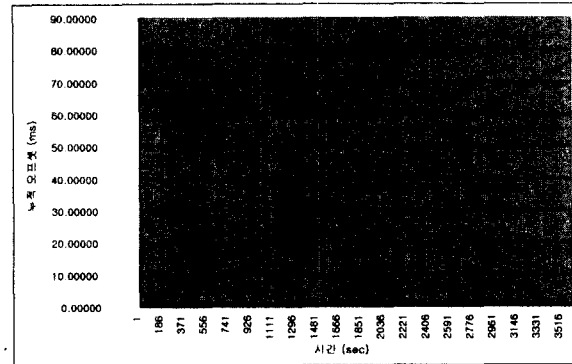
4. 적용 예

발진자 자체의 오류요소로는 내부적인 요인인 노화와 온도나 습도와 같은 환경적 요인이 있다. 본 실험에서는 환경적인 요인을 고려한 단기간의 안정도만을 측정하고 결과를 제시한다. 주파수 카운터로 측정을 하였기 때문에 앞서 설명한 명목 위상으로부터의 시간에 따른 위상 변화량 $\phi(t)$ 을 달리 구하지 않아도 주파수 오프셋을 측정할 수 있다.

[그림 4]은 일반 컴퓨터에서 사용하는 14.318MHz의 수정발진자의 주파수를 1시간동안 측정한 값의 오프셋을 보여준다. [그림 5]는 측정된 주파수의 오프셋을 시간에 대한 누적 오프셋으로 환산한 것이다. 1시간 측정에 있어서 76.8ms정도의 오프셋을 보인다. 이 누적 오프셋이 컴퓨터 시각에 직접적으로 반영되는 것은 아니고, 여러 차례 분주를 거쳐게 됨에 따라 오프셋 값의 반영이 감쇄될 것이다. 그렇다고 할지라도, 이 정도의 오프셋은 정밀 시각 측정에 있어서는 큰 오류요인으로 작용된다.



[그림 4] 주파수 오프셋



[그림 5] 누적 오프셋

5. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 일반 컴퓨터 시스템에서의 시각 정밀도를 향상하기 위해 앞서 시각을 제공하는 각 장치들에서 나타나는 오류 요소들을 알아보았고, 이를 PC에서 정밀하게 측정하는 방법론을 제시했다. 그리고 그 중에서 오류 요소의 근원이 되는 수정 발진자의 주파수 안정도를 제시한 실험환경에서 측정을 해 보았다. 추후 연구 방향으로서는 계속적인 시각 장치의 오차에 대한 정밀 측정·분석과 함께 이를 통한 값에 의한 통계치 분석을 이용하여 정밀도를 향상할 수 있는 보정 알고리즘 방법에 대한 연구를 계속 할 것이다.

참고문헌

- [1] David L. Mills, "Modeling and Analysis of Computer Network Clocks", Technical Report 92-5-2, University of Delaware, 1992
- [2] Michael Lombardi, "Computer Time Synchronization", Time and Frequency Division NIST
- [3] Micael Lombardi, "An Introduction to Frequency Calibrations", Time and Frequency Division NIST
- [4] Karen Hazzah, Writing Windows VxDs and Device Drivers, Programming Secrets for Virtual device Drivers, R&D Books, 1997
- [5] David A. Solomon, "Inside Windows 2000", Microsoft Press, 2000
- [6] 이성진, "GPS 시각원과 FLL을 사용한 시각 정밀도 향상 기법", 부산대학교 이학석사 학위 논문, 1999
- [7] 전선미, "네트워크 시각 동기화를 위한 내장형 실시간 운영 체제의 시각 관리 방안", 부산대학교 이학석사 학위 논문, 2000
- [8] 황소영, "임베디드 시스템에서의 인터럽트 처리 특성 분석", 부산대학교 이학석사 학위 논문, 2001
- [9] Intel Architecture Software Developer's manual Volume 3: System Programming