

멀티미디어 자료 처리를 위한 정보가전기기용 실시간 운영체제의 기술 및 시장 분석

An Analysis on Technology and Market Trend of Real-Time Operating System
for Multimedia Information Home Appliances

한국전자통신연구원(ETRI)

컴퓨터소프트웨어기술연구소(CSTL)

김 채규 (Che Kyu Kim)

kyu@etri.re.kr

대전광역시 유성구 가정동 161, 305-350

TEL : 042-860-6553

FAX : 042-860-6868

제 1 장 서 론

최근 군수 산업분야의 각종 병기에대한 제어 시스템이나, 민수 산업분야의 정보 가전 기기에 대한 운영시스템은 사용자의 요구 수준이 다양해짐에 따라 점차로 경량화를 지향하면서, 보다 빠른 처리를 요구하고 있다. 이러한 요구 수준에 효과적으로 대처하기 위하여 학계 및 산업계에서는 실시간 임베디드 시스템(real-time embedded system)의 연구가 활발하게 수행되고 있으며 특히 다양한 정보 가전 기기들이 요구하는 멀티미디어자료를 용이하게 처리하기위한 애플리케이션 소프트웨어 및 실시간 운영체제의 연구가 활발하게 이루어지고있다.

실시간 운영체제는 초기에 항공기, 미사일, 원자력발전소 등 시간적 제약성이 매우 민감한 분야에 사용되는 강성 실시간 운영체제와 최근 멀티미디어 산업의 발달로 정보가전기기등에 탑재되는 연성 실시간 운영체제로 분류된다. 연성 실시간 운영체제는 시스템의 동작이 논리적 정확성 뿐만아니라 비교적 시간적 정확성에도 좌우되는 시스템을 말한다.

현재 국내에서는 일부 대학 또는 대기업 연구소에서 실시간 운영체제 개발에

대한 시도는 있었지만 개발 도구 지원의 부족, 사용범위의 제한 등과 같은 이유로 개발 완료 후 정보가전기기에 탑재되어 이용된 예는 드물다. 따라서 국내에서는 정보가전기기들의 급속한 시장 형성에 의하여 이들에 탑재될 실시간 운영체제가 없어 외국에서 비싼 로열티를 지불하고 수입하여 사용하고 있다.

이러한 로열티 지급은 국내 정보 가전 산업의 세계 시장 진출에 막대한 장애를 초래하고 항상 기술종속의 굴레에서 벗어나지 못하는 장애 요인으로 대두 되게 되었다.

이러한 현상을 탈피하기 위하여 정부는 국책 사업으로 연구소와 대기업 중심으로 실시간 운영체제 개발 및 상용화에 박차를 기하고있다. 그러나 국내의 경우 별도로 정보 가전 기기 및 이들에 탑재될 실시간 운영체제에 대한 시장 및 기술 분석을 전문적으로 진행하는 경우는 극히 드물고, 대부분 실시간 운영체제를 개발하기 시작할 때 보조적인 형태의 연구로 진행되었다.

이 논문에서는 2장에서 실시간 운영체제의 기능을 분석하고, 3장에서 실시간 운영체제의 특징을 조사하고, 끝으로 국내외의 실시간 운영체제 시장 분석 및 결론을 피력한다.

제 2 장 실시간 운영체제 기능분석

실시간 시스템이란 기존의 컴퓨터 시스템과 달리 시스템 동작의 정확성이 논리적 정확성 뿐만 아니라 시간적 정확성에도 좌우되는 시스템을 말한다. 현재까지 실시간 운영체제에 대한 많은 연구가 이루어져 왔으며 실제에도 많은 응용이 이루어져 왔다. 최근에는 휴대용 단말기에도 실시간 운영체제가 사용될 정도로 널리 이용되고 있다. 다양한 실시간 운영체제만큼 그 특성 또한 다양하다. 그러나 그 다양한 특성 속에는 실시간 운영체제만이 갖는 일관된 특성이 있다. 일반적인 시스템에서는 태스크의 처리량(throughput)과 컴퓨터 자원의 이용률(utilization)을 높이기 위해 컴퓨팅 자원(resource)을 관리해 왔으며, 주어진 일들이 쌓이는 대기행렬(queue)에선 모든 일들을 시간제약에 관계없이 다루었다. 그러나 실시간 시스템에서는 각각의 일에 우선 순위를 두어 일을 처리함으로써 시간제약을 만족시키게 되며, 자원에 대한 소유권을 주어 먼저 처리해야 될 일들이 자원을 우선적으로 사용할 수 있게 한다. 기존의 시분할

시스템이 높은 처리율에 중점을 두었다면 실시간 시스템은 스케줄 가능성(schedulability)에 중점을 둔다. 또한 응답도 면에서 전자가 빠른 평균 응답 시간에 목표를 두었다면 후자는 보장된 최악의 경우 지연(worst-case latency)을 일정 한계이내로 보장하는데 목표를 두고 있고 오버헤드 면에서 시분할 시스템은 공평성(fairness)에, 실시간 시스템은 안정성 및 예측성에 그 목표를 두고 있다[신 98],[LIU97].

최근 운영체제는 컴퓨터의 성능을 향상시키는데 많은 도움이 되고 있다. 그러나 앞에서 설명한 바와 같이 실시간 시스템에서의 성능은 단지 평균 응답시간에 의해서만 측정되지는 않는다. 실시간 운영체제는 스케줄러와 장치 드라이버 태스크들만으로 구성되는 마이크로 커널과 서버 태스크로 구성되어 있다. 그리고 이와 같은 실시간 시스템을 위한 운영체제가 제공하여야 할 사항으로는 실시간 태스크의 관리, 태스크간의 통신기법, 인터럽트 처리의 보장, 타이머 관리, 그리고 다양한 장치 인터페이스 관리 등에서 실시간성 보장을 위한 고려가 아래와 같이 이루어져야 한다.

첫째, 실시간 속성이 주어진 태스크는 프로그래머가 아닌 커널에 의해서 관리되어야 한다. 예를 들면, 주기가 주어진 태스크를 주기마다 실행하는데 있어서 프로그래머의 별도 프로그램 작성이 없이 커널에 의해서 주기적으로 실행되어야 한다. 둘째, 실시간 시스템은 일반적인 운영체제가 제공하는 프로세스간 통신 기법뿐만 아니라 이벤트의 확실한 처리를 제공하여야 한다.

셋째, 실시간 시스템은 일반적인 컴퓨터 시스템과는 달리 센서, 액추레이터, 비디오 카메라, 오디오 레코더 등과 같은 다양하고 많은 주변장치를 포함하게 되는데, 이 장치 들로부터 발생하는 인터럽트의 즉각적인 감지와 처리의 확실한 보장이 커널에 의해서 제공되어야 한다.

넷째, 실시간 시스템 내에서는 시스템 속성상 엄격한 시간 관리가 이루어져야 한다. 다섯째, 앞서 언급한 것과 같이 실시간 시스템에는 다양하고 많은 주변 장치가 포함 될 수 있다. 따라서 커널은 시스템에 포함되는 다양한 주변 장치에 대한 편리한 사용자 인터페이스를 제공하여야 한다.

제 3 장 실시간 운영체제의 특징

대부분의 실시간 운영 체제는 마이크로 커널을 기반으로 하여 구현되었는데 이들 실시간 운영체제의 일반적인 특징은 다음과 같다.

가) 선점가능한 멀티쓰레드(preemptive multithread): 실시간 운영체제는 선점가능한 멀티쓰레드를 지원 한다. 멀티쓰레드는 시스템의 병렬성(concurrency)을 지원할 뿐만 아니라 자원의 효율적 관리를 가능하게 하며, 문맥 교환(context switching) 시간을 줄여 시스템의 응답성을 향상시켜 준다. 이러한 쓰레드는 구현 방식에 따라 쓰레드가 커널의 기능 자체로 구현된 커널레벨 쓰레드(kernel-level thread)와 유저의 라이브러리 함수로 구현된 유저레벨 쓰레드(user-level thread)로 구분된다. 최근에는 이 둘을 혼합한 형태의 쓰레드 모델들이 제안되기도 하였다. 멀티 쓰레드 모델은 현재 실시간 운영체제만 국한되는 것이 아니라 성능 향상을 위해 기존의 많은 범용 운영체제에서도 도입되었다.

나) 예측 가능한 실시간 스케줄링과 동기화 메커니즘: 실시간 운영체제는 예측 가능한 실시간 스케줄링과 동기화(synchronization) 메커니즘을 제공 한다. 실시간 스케줄링은 실시간 분야에서 그 동안 가장 활발히 연구되어온 분야로서 현재 많은 이론들이 제안되었다. 우선순위 기반(priority-driven) 알고리즘인 RMA(Rate Monotonic Assignment)와 EDF(Earliest Deadline First) 알고리즘은 각각 정적 우선순위(static priority)와 동적 우선순위(dynamic priority) 알고리즘 중 최적 알고리즘(optimal algorithm)으로 알려져 있다. 이들은 현재 가장 많이 사용되기도 하는 알고리즘으로서 실시간 운영체제는 이러한 실시간 스케줄링을 지원하여야 시스템의 자원을 효과적으로 관리하면서 주어진 시간 제약을 만족시킬 수 있다. 또한 실시간 운영체제는 우선순위계승 프로토콜(priority inheritance protocol)을 지원할 수 있어야 한다. 이는 공유 자원의 사용에 있어서 블로킹 시간(blocking time)을 제한하여 쓰레드 동기화를 예측 가능케 한다.

다) 결정성: 결정성은 명확하게 정의된 시간동안에 특정 동작이 수행되는 시스템의 성향을 말한다. 완전 결정성 시스템은 주위 환경에 관계없이 태스크가 항상 일정한 시간 내에 완료된다. 역으로 완전 비결정성 시스템은

태스크의 완료시간에 상한이 없는 경우를 말한다. 그러나 실시간 운영체제를 포함한 모든 운영체제는 완전 결정성 시스템을 요구하지 않지만 실시간 운영체제의 중요한 성능 척도중의 하나가 바로 결정성이다.

라) 응답성: 실시간 운영체제는 시간적 특성을 명확히 파악할 수 있어야 한다. 응답성은 어떠한 사건에 대해 빨리 응답하는 시스템의 능력을 말한다. 동기적인 사건은 시스템의 성능에 중요한 영향을 미치는 수행 속도를 가진 연속적인 동작을 발생시키므로, 동기적인 사건에 대한 응답성은 보통 실시간 시스템과 일반 시스템간에 그 중요성에 있어서 큰 차이가 나지는 않는다. 그러나 I/O 인터럽트와 같은 비동기적 사건은 외부 사건에 대해 즉각적으로 반응해야 하는 실시간 시스템에서 중요한 요소이다. 인터럽트 응답 시간은 몇 가지 중요한 구성요소를 가진다. 첫째는 인터럽트의 승인이 지연될 수 있는 최대 시간이다. 둘째 요소는 최초로 인터럽트를 처리하고 ISR(interrupt service routine)을 수행시키기 시작하는데 요구되는 총 시간이다. 이 시간은 작업과 문맥교환을 포함하며, 최대 지연 시간은 중요한 응답시간의 요소가 된다. 셋째 요소는 실제로 인터럽트를 서비스하는데 필요로 하는 총 시간이다. 네번째 요소는 시스템 응답시간에 중첩된 인터럽트가 미치는 영향이다. 예를 들면, 인터럽트가 발생한 시점에서부터 태스크가 수행을 재개할 때까지 걸리는 인터럽트 잠복기(interrupt latency)를 알 수 있어야 한다. 그래야 응용 프로그램의 수행이 예측 가능하여 스케줄링 분석이 용이해진다. 이밖에 시스템 콜(system call)의 최대 시간이나 인터럽트가 마스크 되는 시간 등을 알 수 있어야 한다. 시스템이 인터럽트의 중첩을 허용하고 처리하는 정도는 결정성 작용과 응답성에 영향을 미친다. 응답시간은 실시간 시스템에서 매우 중요하다. I/O 응답성과 I/O 동작의 결정성은 실시간 계산 시스템에서 중요한 특징이다.

마) 사용자 제어: 범용 시분할 운영체제에서의 사용자 제어는 공정성과 응답성의 특징에 맞게 서비스를 하도록 설계되어 있기 때문에 제한적이다. 그러나 실시간 운영체제는 시스템 동작의 최종적 제어를 사용자에게 부여한다. 이러한 사용자 제어는 어떠한 작업 수행에 대해 사용자가 정의한 우선순위의 개념에서 시작된다. 이것은 실시간 시스템에서 제공하는 중요한 스케줄링 기능의 하나이다. 시스템이 사용자에게 작업의 상대적 우선순위를 부여하도록 하여 사용자가 처리율과 응답성을 정할 수 있게 하였다. 사용자 제어는 작업

우선순위를 정하는 것에서 끝나지 않는다. 이것은 시스템의 모든 영역으로 확장된다. 실시간 시스템은 사용자에게 페이지의 사용 혹은 프로세스와핑(swapping), 어떤 프로세스가 메모리에 상주해야 하는지, 어떤 디스크 전송 알고리즘이 사용되어야 하는지 등과 같은 정책을 결정하도록 한다.

마) 신뢰성: 실시간 운영체제에서의 신뢰성은 장기간 동안 시스템이 오류 없이 계속 동작 할 수 있는 것을 의미한다. 이를 위해 결함허용의 개념을 도입하여 시스템을 구성해야 한다. 실시간 시스템은 시간을 다루는 실세계 시스템을 제어하므로, 실시간 시스템에서 재부팅을 요구하는 오류는 막대한 금전적 손해나 인간의 생명을 위협하는 문제를 야기할 수 있다. 실시간 운영체제에서의 신뢰성은 또한 필요한 모든 자원을 미리 할당함으로써 경성 실시간 프로세스가 수행 될 수 있도록 보장하는 것을 의미한다.

제 4 장 시장 분석

가. RTOS 채용범위의 변화

국내서는 그 동안 RTOS의 수요가 생산량이 적은 일부 산업용 기기나 교환기 등에 국한돼 왔으나 최근 들어 생산량이 많은 정보통신기기와 가전제품으로까지 확산되면서 시장이 급팽창할 조짐을 보이고 있다. 지난해까지는 IMF 여파로 시설투자와 연구개발투자가 거의 중단되다시피 했으나 올 들어 공공기관이나 업계의 투자가 되살아나면서 RTOS의 수요가 급증하고 있다. 초기에는 엘리베이터나 TDX-100 등에 주로 탑재돼온 RTOS는 점차 그 채용 범위가 확대되어 라우터 등 각종 네트워크 장비는 물론 개인 휴대통신 단말기, CDMA 단말기, 디지털 TV, IMT2000 등으로 점차 채용이 확대되고 있으며 이들 제품의 생산량도 갈수록 늘어나고 있다. 더욱이 최근에는 디지털 TV, 인터넷 셋톱박스, 인터넷 전화기 등 디지털 및 네트워크기술을 바탕으로 한 정보가전 제품이 속속 등장하면서 이들 제품의 기능을 제어하는데 필요한 실시간 운영체제의 요구가 더욱 절실해졌다고 할 수 있다. 따라서, 컴퓨터용 OS 업체들과 기존의 RTOS 전문업체들은 그 동안 통신, 산업전자, 항공 및 우주산업 분야에서 각종 제어시스템을 중심으로 형성되어온 실시간 운영체제

시장이 정보 가전, 멀티미디어의 급부상에 힘입어 정보 가전 용으로 확대됨에 따라 이의 선점 경쟁에 적극 나서고 있다. 최근 몇 년 사이에 국내 마이크로 프로세서 개발장비(MDS) 공급업체들도 실시간 운용체계(RTOS)시장에 적극 진출하고 있는 가운데 이 시장이 급신장세를 보이고 있으며 이는 국내의 내장형 애플리케이션 개발 시장이 기존에는 8·16 비트 CPU 위주였으나 고성능 마이크로 프로세서 출현으로 32 비트 CPU의 사용이 늘어나고 있고, 내장형 시스템에서 멀티태스킹과 각종 네트워킹, 입출력 파일 시스템 등을 보다 쉽게 구현키 위해서도 RTOS를 사용하는 사례가 늘고 있는데 따른 것으로 풀이된다. 특히 이들 RTOS 중에는 3.5 인치 플로피디스켓 한 장으로 부팅해서 윈도환경과 인터넷을 사용할 수 있게 해주는 제품마저 있을 정도로 OS가 가벼워 향후 인터넷 셋톱박스나 휴대폰, 개인 휴대 단말기(PDA) 등 각종 정보 기기에 응용, 대규모 시장을 형성할 가능성이 높은 것으로 분석되고 있다. 또한, 캐나다 QSSL사의 실시간 OS인 QNX의 응용분야에서 살펴보면 세계적으로 자동차산업 제어분야의 표준 OS로 불릴 만큼 공장제어분야에 널리 사용되고 있으며 통신, 의료, 공장자동화, 방위산업 등 각종 제어시스템 등의 인터넷 어플라이언스(IA) 기기에 사용되고 있다. 운용체계(OS)를 비롯해 정보가전용 소프트웨어의 경쟁력을 좌우하는 핵심기술은 신속하게 특정한 기능을 수행하는 실시간 처리능력과 함께 최소한의 하드웨어 아키텍처 상에서 정보검색, 전자우편, 전화접속 등 다양한 쌍방향 서비스를 구현 시키는 것이 관건이다. 이에 따라 개발이 손쉽고 신뢰성이 있는 소프트웨어 개발환경을 확보하는 것이 중요하다.

나. 국내 시장의 최근 동향

국내 마이크로 프로세서 개발장비(MDS) 공급업체들이 실시간 운용체계(RTOS)시장에 적극 진출하고 있는 가운데 최근 몇 년 사이 이 시장이 급신장세를 보이고 있다. 국내의 RTOS 시장 규모는 90년 이후로 매년 30% 가량의 고성장을 거듭하고있으며 올해는 50억~60억 원에 이를 것으로 추산된다. 국내 RTOS 시장은 특히 순수한 OS 커널과 이에 부응하는 디버깅 툴, 그리고 이와 관련된 C 크로스 컴파일러 등이 인기를 끌고 있으며 내장형 시스템 개발프로젝트가 대형화, 전문화되면서 이와 관련한 통신·FA·OA 등의 분야에서도 수요가 급증할 것으로 예상된다. 이에 따라 한국마이크로텍

한국멘토, 마이크로비전, 제우스컴퓨터 등 국내 MDS 장비 및 소프트웨어 공급업체들은 최근 RTOS를 이용한 대단위 프로젝트가 늘어나고 있는 기업체와 연구소 등을 대상으로 판촉 경쟁에 나서고 있다. 국내에 소개된 RTOS는 마이크로텍 리서치사의 VRTX 커널, 윈드리버 시스템사의 VxWorks 커널, ISI사의 pSOS 커널, 마이크로웨어사의 OS9 커널 등이 주류를 이루고 있으며 각각 특화된 영역을 공략하고 있다. 마이크로텍 리서치사는 자사의 VRTX 커널을 국내 통신관련 분야에 5년 전부터 집중 공급하고 있고 C/C 크로스 컴파일러, 엑스레이 디버거 등의 디버깅 툴도 공급하고 있다. 또 마이크로웨어사는 OS9을 주력제품으로 내세워 국내의 VOD, 셋톱박스 등 멀티미디어 시장을 공략하고 있다. 국내 판매업체로는 한국 마이크로텍이 VRTX를 수입, 판매하고 있고 한국 멘토가 VxWorks를, 유니탑이 OS9를 들여와 판매하고 있다. 또 pSOS는 그 동안 태성이 판매해 왔으나 ISI사가 조만간 지사를 설립, 직영체제로 전환할 것으로 알려졌다. 이밖에 마이크로비전이 미 ATI사의 뉴클레우스를, 제우스컴퓨터가 미 JMI사의 제품을 각각 수입해 시판하고 있다. 한편 현재 보급되고 있는 RTOS는 대부분 미산으로 고가인데다 충분한 기술교육이 뒷받침되고 있지 않아 중소기업보다는 대기업이나 국영 연구소 등에 편중돼 있다. 선 마이크로시스템사는 RTOS 전문업체인 코러스사를 전격 인수함과 동시에 자체 개발한 퍼스널자바(pJAVA)등을 내세워 정보가전용 OS 시장을 공략하고 있다. QSSL사의 경우 인터넷 전화기 등 IA(Internet Appliances)제품군에 적용할 수 있는 새로운 OS를 개발하고 전세계시장에서 판촉활동을 이미 개시했다. 이 제품은 QSSL사의 한국 대리점인 (주)다산기연을 통해 국내에도 소개될 예정이다. 이러한 추세에 따라 정보가전 시장에 가세하고 있는 국내 가전 업체들도 국내의 RTOS 전문업체의 소스코드를 확보해 자체 기술력을 확보함과 동시에 컴퓨터업체들의 정보가전 OS를 병용하면서 경쟁력을 높이고 있다. 미국의 ISI사 pSOS의 소스코드를 구입한 삼성전자는 자사 제품의 시스템에 맞게 개량하면서 디지털 TV를 비롯한 정보가전 제품에 속속 채용하고 있다. 삼성전자는 이와 함께 개인정보단말기류와 인터넷 전화기에는 WindowsCE와 pJAVA를 적용했다. 한편, 최근 세계 RTOS 시장에서 가장 두드러진 변화는 그 동안 공장자동화(FA), 통신 및 의료기기 산업을 중심으로 형성되어온 RTOS 시장이 정보가전분야로 확대되고 있는 것이다. 이에 따라 매년

20%가량의 신장세를 보였던 RTOS 시장이 정보가전제품의 보급속도에 따라 폭발적으로 팽창할 수 있는 전기를 맞고 있다. 현재까지 아시아 지역은 일본을 제외하고 세계 RTOS 시장에서 차지하는 비중이 크지 않았지만 향후 한국, 중국, 대만 등을 중심으로 크게 신장할 것으로 예상된다. 특히 우리나라에서는 삼성전자, LG 전자, 대우전자 등 대기업들과 중견업체들이 정보가전 시장에 적극적으로 참여하고 있어 유망시장의 하나로 주목되고 있다[전자].

다. 시장 점유율

많은 회사들은 자신들이 사용하는 응용분야의 크기와 종류에 따라서 한가지 이상의 RTOS를 사용하고 있다. [그림 1]는 1997년 Embedded system programming 지에서 60,000명 이상의 독자들을 대상으로 이들이 사용하고 있는 RTOS에 대해 조사한 결과이다. 이 결과에서는 VxWorks가 전체 시장의 27% 정도를 차지함으로써 가장 높은 시장 점유율을 보이고 있다. 다음으로, Integrated System pSOS, 마이크로웨어사의 OS-9 등이 그 다음을 차지하고 있다. OS-9은 VOD, 셋톱박스 등 멀티미디어 시장을 주력으로 공략하여 높은 시장 점유율을 유지하고있는 것으로 볼 수 있다. 하지만, 1999년 후반기에 마이크로소프트사가 WindowsCE의 Realtime 버전을 내놓는다는 계획이 있으므로 앞으로의 시장 변화에 커다란 변수로 작용할 것으로 보인다.

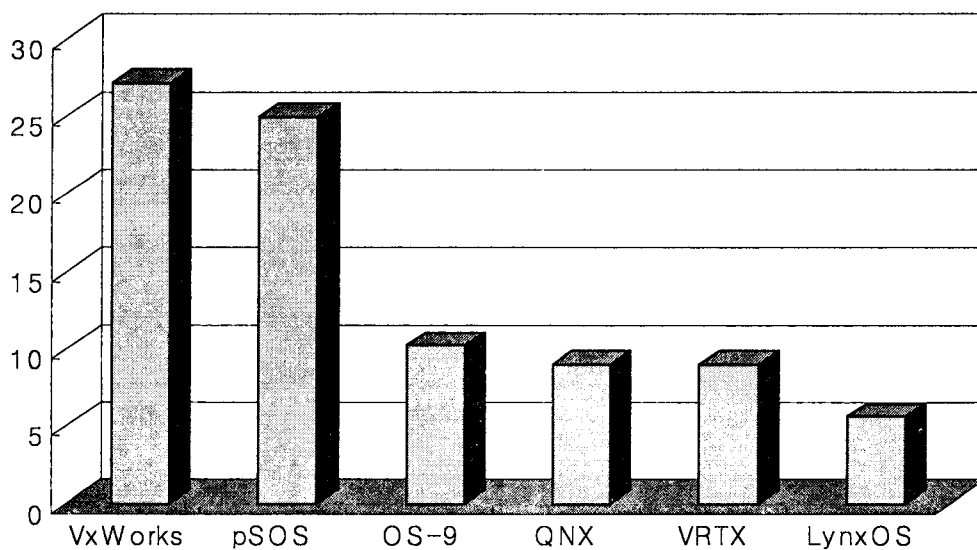


그림 1 RTOS 시장 점유율

이상에서 본바 와 같이 외국의 상용 제품 가운데 VxWorks 나 Psos 를 제외하면 아직 특별하게 우선하여 실시간 운영체제 시장을 점유하고 있는 제품은 많지않다. 2000 년이후 통신기술의 급진적 발달과 멀티미디어 자료처리 기술과의 접목으로 인한 정보가전 기기의 기능다양화는 실시간 운영체제의 기술수요가 급격히 증가할것으로 예상된다. 따라서 국내 정보 가전 기기 산업의 기술 기반 확립과 국외의 기술경쟁력 우위를 위하여 산업계, 학계 그리고 국책 연구기관 은 서로 협력하여 지속적인 실시간 운영체제 개발에 맹진하여야 하며 아울러 우수인력 확보에대한 노력도 게을리 해서는 아니될것이다.

참고 문헌

- [남 98] 남민우, “실시간 OS 시장 동향,” 한국 정보처리학회 논문지 제 5 권 제 4 호, 1998.7.
- [신 98] 신현식, 김태웅, “실시간 시스템의 개관,” 한국 정보처리학회 논문지 제 5 권 제 4 호, 1998.7.
- [남 98] 남민우, “실시간 OS 시장 동향,” 한국 정보처리학회 논문지 제 5 권 제 4 호, 1998.7.
- [전자 98] 정보통신부, “Java 기술 산·연 협력 사업에 관한 연구,” 1998.
- [EMB97] <http://www.embedded.com/97/zr9703.htm>.
- [ISI96] Integrated Systems, “pSOSystem System Concepts.” Manuscript, 1996. Available from <http://www.isi.com>.
- [ISI99] Integrated Systems, “pSOSystem,” 1999. Available via <http://www.isi.com/products/psosystem/index.htm>.
- [LYN99] Lynx Real-Time Systems, INC. ,”LynxOS Real-Time Operating System.” 1999. Available from <http://www.lynx.com>.
- [MIC99a] Microware, “OS-9 essential building blocks for your embedded device,” technical white paper, 1999. Available from <http://www.microware.com>.
- [MIC99b] Microware, “DAVID 2.2 a superior foundation for digital television,” technical white paper. Available via <http://www.microware.com>.
- [MEN98] Mentor Graphics, “VRTX Real-Time Operating System,” 1998. Available from <Http://mentorg.com/microtec>.
- [QNX99a] QNX software systems LTd. ,”QNX System Architecture”, User’s Guide, 1999. Available from http://www.qnx.com/literature/qnx_sysarch.
- [QNX99a] QNX software systems LTd. ,”Neutrino System Architecture Guide”, User’s Guide, 1999. Available from http://www.qnx.com/literature/nto_sysarch.
- [SUN99] SUN microsystems, “Technical Overview of EmbeddedJava Technology,” 1999. Available via <http://java.sun.com/products/embeddedjava/overview.html>.
- [TIM98] M. Timmerman, “Is Windows CE 2.0 a real threat to the RTOS World?,” Realtime Magazine, 983Q, 1998. Available via <http://www.realtime-info.be>.
- [WIN99] Microsoft, “Windows CE: Microsoft Windows Ce 2.11 Data sheet,” 1999. Available from <http://www.microsoft.com>.
- [WRS99] WindRiver, “VxWorks 5.4,” 1999. Aavailable via <http://www.wrs.com/products/html/vxwks54.htm>.
- [CAR99] CARAT, interactive TV news, <http://www.itvnews.com/research/techint.htm>.
- [DAV99] Microware white paper “DAVID 2.2: a superior foundation for digital-television,” <http://www.microware.com/ProductsServices/>

Technologies/david.html.

- [GEO99] George Lawton, "Vendors Battle over Mobile-OS Market", pp 13-15, computer, Feb. 1999.
- [HUR99] Hursley Laboratories, "An Introduction to Interactive Television," <http://www.hursley.ibm.com/misc/xw-itvintro.html>.
- [JOS99] Josef Fleischmann, Klaus Buchenrieder, "Prototyping Networked Embedded Systems", pp 116~119, IEEE computer, Feb. 1999.
- [MIL98] Milan Milenkovic, Intel, "Delivering Interactive Services via a Digital TV Infrastructure," pp 34~43, IEEE MultiMedia, October-December 1998.
- [MAN98] Manfred Schlet, Hitachi Europe GmbH, "Trends in Embedded Microprocessor Design," pp 44~49, Computer IEEE, 1998.