

X77-Bit Slice
microprogrammable
microprocessor를
사용하여

韓國科學院 전산학과

朴 喆 熙

16-bit microcomputer
System의 설계 및
제작 Project

序 論

本 論文은 새로운 hardware와 software 기
술을 利用한 mini-level의 凡用 digital compu-
ter system의 設計 및 制作을 目的으로 現在 研
究中인 X77이라 불리우는 研究開發課制에 關한
보고서이다. X77研究 開發課制은 Project Micro
라는 이름으로 韓國科學院에서 계속하여온
microprocessor 應用研究의 일환으로 1975年부
터 研究되어 왔다. Project Micro의 관심은 X
77 以外에도, 직접 상용가치가 있는 micropro-
cessor의 應用에서부터, microprocessor 應用
을 위한 여러가지 多樣한 보조 software tool들
의 制作 및 使用 등에 이르기 까지 광범위하다.
이러한 보조 softwaretool의 例로는, 現在 科
學院에 설치되어 있는 Nova 16 bit mini-com-
puter를 host computer로 하여, 8080 micro
processor와 cross assembly와 simulation을
수행하는 Package인 b8076 등이 있다.

micro processor 技術의 歷史는 비록 5~6年
에 지나지 않지만, 그것은 진공관, Tr, fixed
function IC 그리고 microprocessor(program-
mable 凡用 LSI)로 이루어지는 digital design
의 발전과정에서 하나의 새로운 章을 차지하고
있다. programming으로 인한 설계 가변성의

증가, 素子 數의 감소에 따른 신뢰도의 증가 등
技術上의 要因 以外에도, 가격절감에 따른 경제
적인 要因 等으로 因하여 종래의 hard-wired
random logic 設計方法은 점차로 凡用 LSI들을
利用하여 programming하며 設計하는 새로운
方法으로 대치되어 가고 있다.

Memory chip의 용량이 지난 數年間 거의 2배
씩 증가하여 왔다거나, 더욱 더 강력한 기능을
갖는 processor들과 기타 여러가지 다양한 보조
회로 chip들이 產業界에서 계속적으로 발표되고
있다는 點 등에서 보여지는 바와 같이 LSI 回路
開發技術의 급격한 발전과 이에 따르는 回路 技
能當 가격의 급격한 하락은 digital system 설
계에 있어서 근본적인 변혁을 이루어서, 凡用
programmable LSI를 使用하는 새로운 技術은
autoranging digital multimeter나 電子 game
等 간단한 intelligent device에서부터 중앙연산
처리장치, 入出力 device controller, 원격단말
장치 等 凡用 Computer System의 subsystem에
도 利用되는 등 그 利用범위가 점차 확대되어
가고 있다.

기타 현재의 micro processor 技術에 대한 전
반적인 설명은 本 著者의 發表 論文에서 찾아볼
수 있을 것이며 또한 그곳에서 microprocessor
에 關련된 참고문헌의 목록들도 찾아볼 수 있을
것이다.

1. Intel 3,000 series Bipolar Micro computer set

本 X77 연구개발 노력은 bipolar LSI bit-slice microprogrammable microprocessor들을 사용하여 microprogram된 cpu의 특성을 조사하기 위하여 착수되었다. X77에 대한 기본적인 착상은 本 著자가 1975年 初에, Intel series 3,000 bipolar micro-computer set을 소개하는 Intel에서 주최한 한 Seminar에 참가하였을 때 이루어졌는데, 3,000 series의 다음과 같은 특성을 고려하였다.

(1) Schottky bipolar를 사용하였으므로, system level에서 150~200nsec 정도의 빠른 속도를 얻을 수 있으며,

(2) 사용자가 원하는 대로 data Path의 크기를 정할 수 있는 bit slice 구조이며,

(3) Microprogram할 수 있다.

이러한 특성들 때문에 3,000 set는 16bit의 data path를 갖고, 수 μ sec의 macro instruction cycle time을 갖는 mini-level computer System의 CPU를 제작하는데 적합한 것이었다

2. National Semiconductor 16 bit Microprocessor PACE

mini-level 정도의 Computer system에서도, 全 system은 여러개의 hard ware와 soft ware들의 subsystem들로 구성되어 있으며, cpu도 다만 하나의 hardware subsystem일 뿐이다. 그래서 本 X77 연구개발 과제에서 종래의 architecture와는 전혀 다른, 새로운 architecture를 갖는 cpu를 설계하는 대신에 이미 알고있는 16bit minicomputer의 cpu를 “emulate”하기로 하였다. 이러한 목적으로 National Semiconductor Corp.의 16-bit single chip μ p PACE³가 선정되었는데 이는 아래와 같은 이유에서이다.

(1) 비교적 새로이 개발된 PACE는 종래의 여러가지 minicomputer와 비교하여 진보된

architecture의 강력한 instruction set을 가지고 있다.

(2) PACE의 instruction set은 종전의 random logic 설계에 의한 minicomputer의 instruction set보다 체계적인 방식으로 구성되어 있다.

(3) PACE는 PMOS Processor로서 최소 instruction cycle time이 8.5 μ sec로서 이미 사용되고 있는 NMOS Processor들보다 속도가 매우 느리다⁴. 따라서 고속도 version과의 비교는 매우 흥미로운 일이다⁵.

3. Design Approaches and Engineering Technique

앞에서 언급된 바와 같이 LSI技術의 발전 속도는 매우 빠를 뿐만 아니라 그 속도는 점차 가속되어 가고 있는 추세이다. 따라서 장기적 및 단기적인 안목에서 볼 때 LSI 回路를 이용한 system의 記計 및 制作에서의 중요한 가치는, 최종적으로 개발된 제품 그 自體보다는 그 제품을 記計, 制作하기 위하여 노력한 design approach와 開發中에 취하여진 engineering method에 근거한다고 할 수 있다. 이러한 입장에서 本 X77의 研究開發에서는 실제의 制作을 目表로, 記計 制作 및 수정작업(debugging)을 위한 일반적인 도구와 技術의 개발에 보다 더 큰 관심을 두었다.

3.1 Software support

Soft ware tool들을 제작하고, 그것들을 사용하기 위해서는 凡用 computer system을 必要로 한다. 이러한 目的으로, 32Kward의 core와, disk based operating system 하에서 돌아가는 여러가지 주변장치들, 그리고 FORTRAN-IV와 (extended) ALGOL의 high level language를 가지고, 現在 科學院에서 이미 動作中인 16bit minicomputer NOVA 840이 사용되었다.

한편 대부분의 상용 software package들은 대부분 32 bit나 그 이상의 data path를 갖는

대형 Computer System을 위하여 制作된 것이며 비록 "portability"를 위하여 FORTRAN 같은 high level language로 쓰여진 상용 package source를 구입하더라도 그것을 16bit minicomputer로 옮기는 것은 실제적으로 많은 일을 필요로 할 수 있다. 따라서 아래에서 說明될 software tool들의 대부분은 科學院의 16bit minicomputer에 맞게 직접 개발 작성되고, 그에 따르는 수정作業들을 거친 것이다.

(1) S3076(in ALGOL)

3,000 set LSI 回路들이 logic block의 형태로 simulate된다. micro instruction pipelining, bus control을 위한 user defined microfunction들, 그리고 기타 macro-instruction의 decoding을 위한 回路等 X77 cpu의 모든 logic block들이, S3076을 使用하여 NOVA에서 simulate하면서 design 및 debug 되었다.

(2) A 3076(in FORTRAN)

micro programming을 위한 cross-assembler로서, Intel CROMIS package⁶의 XMAS에서 쓰여진 것과 같은 language를 assemble 할 수 있고, 여러가지 유사한 기능들을 수행할 수 있다. A3076은 X77의 micro code들을 assemble 하는데 사용되었다. 상용 package를 직접 사용하는 문제는 다음과 같은 실질적인 경우가 좋은 예가 될 것이다. 즉, CROMIS package의 source를 적당한 가격으로 구입할 수도 있었는데 A3076을 새로이 따로 개발한 이유가 무엇인가 하는 문제이다. 실제로 Project Micro에서는 Intel로부터 CROMIS package의 source 및 install을 위한 information이 source program의 comment card 형태로 포함된 2,400ft의 magnetic Tape를 구입하였다. 이 tape에서 documentation part를 제거하고 각각의 Program들을 다루기 쉽게 module로 나누기 위하여 IBM 370/168 2대와 360/91 1대로 구성된 Stanford Linear Accelerator Center의 triplex facility에서 interactive text editing을 사용하였는데 160 track 이상의 on-line disk Stor-

age를 필요로 하였다. CROMIS의 2가지 큰 부분 중에 하나인 XMAS(Version 2.0, May, 1975)는 28,000 line의 FORTRAN source로 구성되어 있으며, 그 중 11,000 line이 code이다. comment card를 모두 제거시킨 후에 IBM OS FORTRAN IV (H) compiler를 사용하여 이 source를 compile하는 데에 370/168의 cpu time이 1분이량 소요되었으며, 1/2 megabyte의 main memory가 필요하였다. 이러한 정도의 작업은 명백히 minicomputer의 범주를 넘어서는 것이다.

XMAS의 중간 output을 사용하여 ROM image를 뽑아내는 CROMIS의 나머지 큰 부분 중의 하나인 XMAP도 비슷한 과정을 거쳐서 SLAC triplex facility에 설치되었다. 따라서 科學院의 NOVA에서 A3076과 S3076을 사용하여 쓰여지고 수정된 X77의 micro code들의 ROM programming file을 SLAC에 설치된 CROMIS package를 사용하여 약간의 수정과정을 거친 뒤 Intel MDS에 설치된 hardware tool들로 옮길 수가 있었다. 그후 科學院의 NOVA에 설치된 A3076에 ROM image를 뽑아내는 XMAP의 기능을 수행하는 program을 추가시켰으므로 현재는 科學院에서 직접 ROM programming file을 얻어낼 수 있다.

(3) PACE를 위한 cross-assembler
(in FORTRAN)

X77의 초기 단계에서는 testing을 위한 간단한 PACE program만으로 충분하였으나, X77 System의 hardware 수정작업이 끝나감에 따라 점차 큰 PACE program들을 필요로 하게 되었다. 따라서 현재의 PACE cross assembler를 확장시켜서 modular relocation object code를 만들어낼 수 있도록 하는 작업이 현재 진행중이다.

위의 (1)에서 (3)까지 언급된 software tool들이 使用되는 方法이 Fig. 1에 表示되어 있다. Fig. 1의 전 System이 batch mode로 動作되어, 매 micro instruction cycle마다 register의 내용, data, function, control bus 등의 ma-

chine state를 print out시킬 수 있다. 이것은 micro code 뿐만 아니라 hardware를 debug 하는데에도 매우 有用하였다.

(4) X77을 위한 software tool들

위에서 언급된 것 이외에도 wire-wrapping list를 만드는 program 등 기타 간단한 보조 program들이 있다. IC나 기타 component들의 이름을 論理的으로 붙여주는 것이 回路圖에서는 매우 便利하다. 그러나 실제로 wire-wrapping을 할 때에는 회로기판상에서의 위치를 表示해주는 이름을 使用하는 것이 더 바람직 하다. wire-wrapping list를 만드는 program에서는 위의 번역을 遂行하여주고 연결되지 않은 pin들을 지적하여 주며 또한 각 pin들의 연결 상태를 보여주는 map을 print out시켜 준다. programming의 전지에서는 위와 같은 program을 만드는 일이 비교적 간단한 일이나 이와 같은 事前作業을 거치지 않고 直接 wrapping으로 들어가서 수 일에 걸쳐서 wrapping한 기판을 中度에서 포기하고 다시 시작해야 하는 경우를 著者は 미국의 큰 연구실에서 보았다.

3.2 Hardware Tools

X77을 위하여 使用된 hardware 보조 tool들은 다음과 같다.

(5) Intel MDS-ICE-30 3,000 series In-circuit Emulator⁷

3001 Microprogram Control unit²의 emulation을 user가 만든 回路上에서("In-circuit") 直接 遂行한다.

(6) Intel SIM-104 ROM Simulators⁸

高速度의 RAM을 使用하여 PROM인 3604나 3624 등을 User가 정해 준 構造대로 수행한다.

이러한 도구들은 Intellec MDS Microcomputer Development System에 붙여서 使用하도록 Intel에서 제공한 module이며 科學院의 Project Micro Lab.에서는 이 全 System을 설치 가동하고있다. 이러한 development System과 특히 (5), (6)의 도구들을 使用할 수 있다는

것이 본 X77 研究에서 3,000 set를 使用하기로 決定한 重要的 이유이다⁹.

4. Input/Output

X77 CPU module은 動作하는 全 computer System의 한 Subsystem일 뿐이다. 그 외의 必要的 Subsystem들의 根本的인 研究와 실제 구현에 관하여 아래에 기술하겠다.

X77 16-bit cpu module은 8-bit microprocessor인 8080을 使用한 cpu module에 shared memory와 interrupt로서 연결되어 있으며 8080 processor는 X77 cpu의 I/D processor 역할을 遂行하게 된다. 이러한 System이 갖는 장점은 다음과 같다.

(a) Project Micro의 또 다른 관심은 "personal" micro computer System에 관한 것으로서, 8080 processor를 중심으로 여러가지 다양한 주변 장치들을 지난 수년간 계속 확장시켜 왔다. 게다가 Project Micro는 8080 processor에 관련된 Software 보조 tool로서, 과학원의 Nova computer에서 동작되는 A8076/S3076의 8080 cross assembler/Simulator와 Project Micro Lab의 MDS System에서 動作되는 resident PL/M compiler를 가지고 있다. 8080processor를 X77의 I/O processor로 使用하게 되면, 위의 모든 hardware, software tool들을 直接 X77 研究에 利用할 수 있게 된다. 이러한 구상은 물론 새로운 것은 아니다. 著者が 수년전에 참가하였던 Munich Max-planck Institut의 Brush Project¹⁰에서 遂行한 高速度 digital computer System의 설계 및 제작(종래의 TTL IC들을 使用하여)의 作業에서 入, 出力의 問題를 Digital Equipment Corp.의 PDP-8에 연결함으로써 해결하였다.

b) 이러한 構造로서, X77 CPU에서는 program을 遂行하고, I/O processor는 入出力의 동작을 개별적으로 수행하여서, 外部와 内部의 process들 사이의 Concurrent Processing이 가능하게 되었다.

c) CPU와 I/O process 상호간의 정보 교류

와, 두 process 간의 concurrent processing을 조정하는 monitor를 설계 제작하는 일은, 대단히 어려운 문제로서, 貴重한 實驗을 해볼 수 있는 좋은 기회를 얻게 되었다.

5. System Software

고급언어를 위한 Compiler 등과 같은 System Software의 開發은 hardware의 개발보다는 항상 늦어왔다. 그래서 micro processor를 위한 System Software의 현 狀態가 매우 원시적이라고 하여도 별로 놀라운 일은 못될 것이다. 새로운 micro processor들의 技能과 종류가 놀라운 速度로 가속 됨에 따라 應用을 위한 것 뿐만 아니라 System을 위한 Software의 開發 및 유지의 문제가 점점 더 심각하게 대두되고 있다. 따라서 software를 설계하고 구현시키는데 새로운 方法이 탐구되어야 한다. 최근에 Software 方法論上의 問題에서 괄목할만한 發展이 이루어졌으며 특히 programming language와 그것들의 compiler에 관한 분야가 발전하였다. 이러한 理論的인 知識을 기초로 하여 Project Micro에서는 X77의 System Software의 實質的인 開發 및 製作에 그의 半이상의 man-power와 그 外의 資源들을 투자하고 있다. 이러한 努力의 결과들에 대하여는 계속 발표될 論文에서 기술할 예정이다.

6. Results

현재 X77 CPU의 설계와 micro code의 첫째 version이 p8076 Simulation package를 使用하여 실제적인 정도까지 完成되었고 또 debug되었다. 이에서 얻어진 주요한 결과를 살펴보면 micro-instruction Cycle time 200 nsec로 動作하는 X77 CPU가 최대 clock 주파수인 2MHz로 動作하는 PACE에 비교하여 약 5배의 speed 개선을 이루었다. main memory access time을 제외하고 macro-instruction execution time이 X77의 경우 1.4 μ sec(RAND의 경우)에서 2.0+0.4n(SHR에서 n번 shift하는 경우) 사이

이다. (각각에 대응되는 PACE의 경우에는 8, 16+6n μ sec이다.)

CPU prototype은 wire-wrapping되어 있으며 앞에서 언급한 MDS facilities들을 利用하여 debugging 중이며 Input/output Subsystem의 prototype의 설계 및 제작에 완료되었다.

위에서 언급한 X77의 다양한 면모에 대한 자세한 사항은 얻어진 결과와 함께 계속적으로 發表될 것이다.

X77 研究開發 과제는 動作하는 prototype의 실제적인 過作에 중점이 주어졌으며, 실질적인 實驗을 必要로 하는 工學에서 항상 요구하여 왔고, 앞으로도 계속 그러할 많은 개개인 들의 협동 즉 韓國科學院 project micro 실험실에 소속된 석사 및 박사과정 학생들과 그 밖의 사람들의 협동을 통한 연구이다. 科學院에서 석사 논문으로 초기 X77에 크게 기여한 그들 중의 2 사람은 CPU design 과 microcoding을 한 안일수¹¹와 A3076 micro assembler를 만든 이창훈¹²이다.

◁ 참고문헌 및 색인 ▷

1. 朴喆熙, Microprocessors, 한국전기공학회지 25, 535 (1976).
2. Intel Series 3,000 Reference Manual, Intel corp. (1976)
3. PACE Technical Description, National Semiconductor Corp. (1975)
4. 현재 8bit micro-processor가 일반적으로 많이 사용되고 있는데 PACE는 16bit의 data path와 좋은 instruction set을 갖고 있으므로 throughput의 견지에서 볼 때 8bit micro processor에 결코 뒤지지 않는다.
5. 1977년에 National Semiconductor corp.에서 schottky TTL을 사용하여 "Super-PACE"라 불리는 Single board PACE microprocessor를 만들었다.
두 version 간의 직접적인 비교는 매우 흥미로울 것이다.
6. Intel Series 3,000 Micro programming Manual Intel corp. (1976) —以下略—