

## 식품 공정 및 농업 자동화를 위한 선행 작업 기억 공정 제어기의 개발

전재근 · 서동욱 · 김세철  
서울대학교 식품공학과

### Development of Teaching Mode Controller Based on Microcontroller for the Automation of Food and Agricultural Processes

Jae-Kun Chun, Dong-Wook Suh, Se-Chul Kim

Department of Food Science and Technology, Seoul National University

#### Abstract

A teaching mode process controller was designed and built with a microcontroller (MC68HC711E9, Motorola) for the automation of food and agricultural processes, and was then applied to the automation of a rice-cooking system. The system consisted of a series of unit operations; weighing, transporting, washing, mixing and cooking operations. The controller provided a data acquisition module for 8 analog inputs of process variables (temperature, volume, water level etc.) and a relay module to control of valves and motors of the cooking system. A serial communication module was also equipped for the on-line monitoring of the process. Seven segment LEDs were used to display time, variables and states of the process. Two sets of key were provided; one at the controller and the other for the remote control. An operation software was developed to carry out dual mode of operation; stand alone control mode and teaching mode operation with a remote control system. Electrically erasable and programmable memory, EEPROM, on chip was designed to record 170 events and durations of agricultural or food processes. The manual rice cooking operations carried out by an expert operator were correctly memorized and reproduced the operations. Cooked rice products from the manual and automated system were proved to be identical in their textural quality.

Key words: one-chip microcontroller, automation, controller, teaching mode

#### 서 론

식품 산업에서는 생산성과 품질 향상을 위하여 공장 자동화 기술의 도입과 개발이 이루어지고 있다(이, 1996). 식품 공장 자동화는 단위 공정들의 유기적 결합 시스템이므로 각 단위 공정의 자동화가 전제되어야 한다. 일반적으로 단위 공정의 자동화에는 센서를 통한 공정 변수들의 계측과 actuator 동작을 위한 수 내지 수십 개의 신호 송출 시스템이 필요하다. 따라서 최근의 식품 가공 기계나 장치에는 이러한 역할을 담당하는 컴퓨터 시스템을 갖추고 있다. 그런데 식품 공정의 제어에는 on/off 제어가 많이 사용되기 때문에 고가의 PLC 보다 단순하고 저렴한 제어 장치가 요구

되는 경우가 많다. 최근 여러 가지 기능을 갖는 microcontroller가 보급되고 있으며, 8 bit microcontroller의 경우에 50~60개의 입출력과 충분한 양의 메모리(8~32 Kbyte) 이외에 ADC와 통신 포트를 갖추고 있다(Texas Instrument, 1995). 특히 microcontroller에 내장된 ADC와 통신포트는 공정 계측과 on-line monitoring을 가능케 하여 식품 공정 및 농업 분야에서 활용할 분야가 많다(Motorola, 1991a).

우리 나라의 농업 및 식품 공장에서는 숙련공의 부족을 겪고 있는바 숙련도는 작업의 종류, 순서, 시간을 정확히 따르는 것이다. 따라서 많은 경험을 가진 숙련자의 선행 작업을 기억하여 그대로 수행할 수 있는 제어 장치를 개발한다면 숙련공의 기능을 발휘 할 수 있는 공정 자동화가 이루어 질 것이다.

Microcontroller를 이용한 식품 공정 자동화의 연구로는 최(1989)의 식품 건조중 공정 변수를 수집하고

Corresponding author: Jae-Kun Chun, Department of Food Science and Technology, Seoul National University, Seodun-dong, Kwonsun-gu, Suwon, Kyungi-do 441-744, Korea

처리하는 연구와 이(1988) 등의 발효 공정 제어 연구가 있다. 그리고 선행 작업 기억 기능을 갖도록 하는 연구로는 전(1992), 권(1995) 등의 연구가 있다. 이들의 연구에서는 공정 작업의 수가 많을 경우 가용 RAM 용량의 부족과 전원이 차단될 경우 기억내용을 잃어버리는 단점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 RAM 용량이 크고 EEPROM을 내장한 microcontroller를 이용하였으며, 취반 공정을 대상으로 선행 작업을 기억하고 공정을 반복하여 재현 할 수 있는 제어 장치와 운영 프로그램을 개발하고자 하였다.

**재료 및 방법**

**취반 재료**

취반 공정에서 사용한 쌀은 단립종(Japonica, 경기미)을 시중에서 구입하여 사용하였으며, 세척 및 가수에서 사용된 물은 일반 수도물을 사용하였다.

**취반 장치**

선행 작업 자동화 대상으로 취반 공정을 택하였으

**Table 1. Some important properties of MC68HC711E9**

Memory (byte)	Input/output (pin)	Special devices
RAM 512	Input 11	ADC, 8 channel
EEPROM 512	Output 11	Serial peripheral interface
EPROM 12K	Bidirection 16	Serial communication interface
		Pulse accumulator, timer
		Expanded multiplexed mode
		16 interrupts

며, 취반 장치는 이(1993)의 취반 시스템을 사용하였다. 취반 용량은 4-5 L이고, 쌀의 계량, 이송, 세척, 열처리 등의 단위 조작들을 포함하고 있다(Fig. 1).

**취반 공정 제어기**

취반 공정 제어 장치는 본 연구를 통하여 개발한 선행 작업 제어기를 사용하였다. 제어기는 8 bit microcontroller (MC68HC711E9, Motorola)를 이용하여 설계, 제작하였으며 이 chip의 주요 사양은 Table 1과 같다(Motorola, 1991a). 이외에 제어기 기판 제작에 사용된 IC chip으로는 serial communication driver (MC6850, Motorola), analog multiplexer (ADG506A, Analog device), Darlington array driver (KA2657, Samsung Co.), high voltage source driver (UDN2981, Allegro Co.), counter (4040) 및 buffer (74LS373) 등이며, 또 다수의 key와 LED, relay (30825F, Matsushita)가 사용되었다.

**제어 및 통신 프로그램**

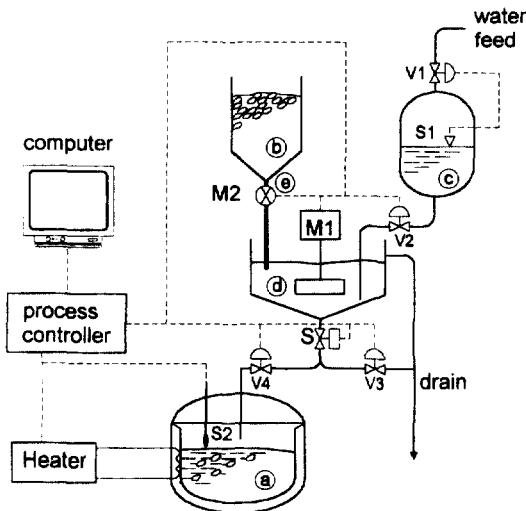
Microcontroller의 개발 장치는 M68HC11EVM을 사용하였고(Motorola, 1992), 제어기의 운영 프로그램은 M68HC11EVM의 assembly 언어로 작성하여 EPROM에 상주시켰다. PC와 제어기 사이의 통신 프로그램을 Turbo-C로 개발하였다(Motorola, 1990).

**결과 및 고찰**

**자동 취반 공정 시스템의 설계**

계량 및 이송 장치: 쌀의 공급 장치는 rotary feeder 형태로 제작하였으며 feeder의 1회전 공급량은 50 ± 0.5 g이었다. 이 공급장치는 Fig. 1의 모터 (M1)로 구동시켰고, 모터의 회전수를 photo-interrupter로 측정하여 쌀의 공급량을 계량하였다.

세척 장치: 세척통에서 일정량으로 공급되는 물 속에서 교반 impeller에 의하여 세척하였다. 임펠러는 DC 모터 (M2)로 구동되며 일정한 시간 주기로 반전되



**Fig. 1. Overall structure of the automatic rice cooking system.**

- Ⓐ: Cooker (electric rice cooker, 5 L, heater: 220V, 1kW),
- Ⓑ: Rice storage bin (rectangular bin, acryl, 15 L), Ⓒ: Water reservoir and level controller (cylindrical, plastic, 20 L),
- Ⓓ: Rice washer with agitator (bowl, stainless steel, 20 L),
- Ⓔ: Rotary feeder (cup type, plastic), M1: Agitator motor (AC 220V, 20W), M2: Rotary feeder motor (DC 12V, 5W ),
- S1: Level sensor (float type, limit switch), S2: Thermistor (10k Ω), S: Solenoid switch (AC 220V), V: Solenoid valve (AC 220V).

도록 제어하였다. 세척수의 공급량은 solenoid valve (V2)의 개폐 시간을 제어하여 계량하였다. 세척수의 일정한 공급속도를 위하여 저수탱크의 수위 측정을 위해 level sensor (S1)를 설치하였다.

세척수는 overflow와 drain valve (V3)를 통해 배출되고, 세척미는 물빼기작업이 끝나면 미리 설정한 가수량 (쌀:물=1:2 w/v)을 적절히 분할 사용하여 물과 함께 취반기로 흘러 들어가도록 하였다.

취반기: 취반기는 전기 밥솥을 개조하였으며, 구조는 밥통 (aluminum, cylindrical, 5 L)과 heater (220 V, 1 kW)부로 구성하였고, 밥통 온도를 thermistor 온도 감응부 (S2)로 계측하여 설정된 온도를 유지하도록 on/off 제어하였다.

취반 공정 제어기의 제작

Microcontroller 입출력 port의 설계: MC68HC711E9의 38개 pin을 Fig. 2와 같이 할당하여 설계하였다. Display 방식은 dynamic display를 사용하였고, key는 key matrix scanning 방식을 사용하였으며, 온도 측정부에서는 16개의 thermistor에서 발생하는 analog 신호를 multiplexing 회로로 선택하여 사용하도록 회로를 설계하였다(권, 1995). 그리고 actuator부에서는 Fig. 3과 같이 pulse counter 방식으로 제어 신호를 보내도록 하였다. 즉 microcontroller의 PA3에서 송출하는 pulse 신호를 4040 counter에 보내어 pulse 갯수에 해당하는 relay를 on/off 하도록 하였다. 그리고 제어기와 주컴퓨터간의 통신은 microcontroller의 내장 직렬 통신 port를 사용하였다.

제어기 제어반의 설계 제작: 작업자가 제어기를 작

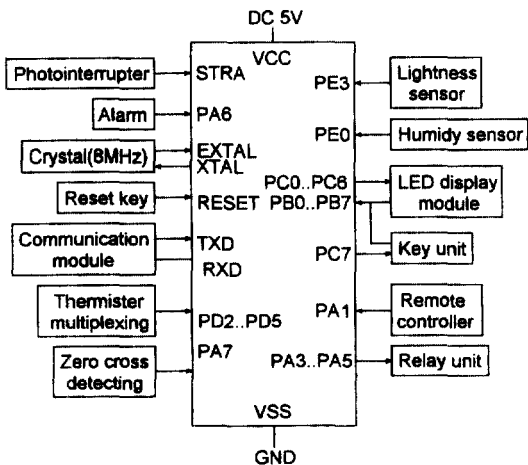


Fig. 2. Block diagram of the teaching mode controller.

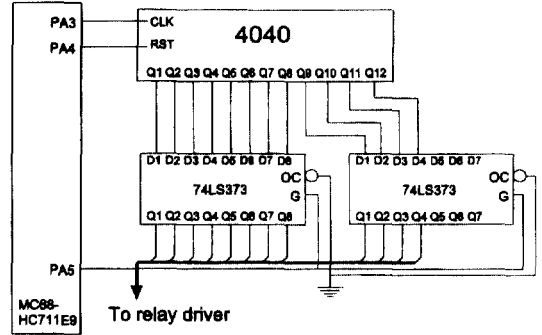


Fig. 3. Signal decoding circuit for the control of actuators

동하기 위한 제어반은 시간, 공정 변수 계측값 등의 표시부와 key 조작부로 구성하였고, wrapping과 PCB를 혼용하여 제작하였다. 공정 변수의 계측치 (온도, 습도, 조도, 시간 등)를 나타내기 위해 7-segment LED를 사용하였으며, 이를 위해 microcontroller의 port B와 port C를 사용하였다. 각 표시부는 현재 표시중인 내용을 알리는 기능표시 LED와 표시선택 key를 갖추도록 하였다. 즉, Key6을 사용하여 SEG0~SEG3에 시간을 표시하거나, 습도·조도의 값중 하나를 선택할 수 있도록 하였다. SEG6은 SEG4, SEG5에 표시되고 있는 온도 센서의 channel을 나타내지만 setting mode에서는 현재 선택되어 있는 relay의 번호를 표시하도록 하였다. Fig. 4는 control panel의 구조이며, 각 display용 LED segment와 key의 기능은 Table 2와 같다.

원격 제어기의 제작: 작업자가 제어반에서 멀리 떨어진 곳에서도 제어할 수 있도록 유선 원격 제어기를 제작하였다. Fig. 5는 원격 제어기의 구조이며 주제어판의 control panel과 동일한 기능을 가지고 있으나 선행 작업 기억을 수행시킬 수 있는 추가 key를 가지고 있다. 이 원격 제어기를 사용하여 작업자는 actuator를 제어할 수 있으며, 숙련공의 작업 순서를 입력하는데 사용하도록 하였다. 즉, 숙련된 조작자가 제어하는 모든 key의 작동 상태와 시간 정보를 함께 기억시킬 수 있도록 하였다. 제어기는 기억된 내용에 따라 모든 공정을 자동으로 수행하도록 하였다. Table 3은 원격 제어반의 표시부와 key의 기능을 나타내고 있다.

선행 작업 기억 제어 프로그램의 개발

선행 작업 기억 제어 프로그램은 MC68HC711E9의 EEPROM (\$D000-\$FFFF) 영역에 작업자가 선행 작업 기억 key를 사용하여 기억시킨 작업의 내용을 정해진 작업 시간에 자동적으로 수행할 수 있도록 개발되었다.

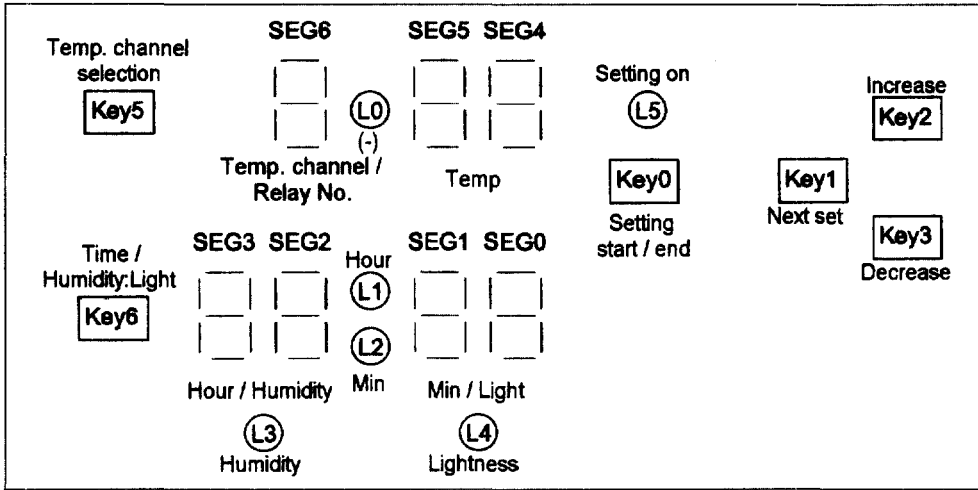


Fig. 4. Layout of the display and key units of the control panel of the controller.

Table 2. Functions of the components of the controller panel

Components	Specification
SEG1, SEG0	Real time or lightness (toggled, min / light, 2 digits)
SEG3, SEG2	Real time or humidity (toggled, hour / RH%, 2 digits)
SEG5, SEG4	Temperature (2 digits)
SEG6	Thermometer probe / relay No. in working status (toggled)
L0	Below zero temperature : (-) sign
L1, L2	Blinking at every second
L3	ON for humidity and OFF for time on display
L4	ON for lightness and OFF for time on display
L5	ON for setting state
Key0	Start and end of setting(toggled) with key 4 ON → set-point setting with key 4 OFF → time setting
Key1	Selection of next relay or time digit for setting
Key2	Increase set value
Key3	Decrease set value
Key4	Selection of displaying mode for SEG0-SEG3 (variable or time)
Key5	Selection of thermometer probe

Fig. 6과 같이 주프로그램의 동작 중에 작업자가 선행 작업 전환 key 6을 누르면 이때부터 눌러지는 모든 key에 대하여 key가 눌러진 시간값과 함께 제어하는 relay 번호 (작업내용)가 기억된다. 기억 작업이 완료 되면 현재 시간과 기억된 작업 시간들을 비교하여 가장 가까운 시간에 작업하게 될 내용을 작업 register에 저장하고 주프로그램이 시행된다. 이렇게 기억되어진 작업은 주프로그램이 실시간으로 작동하면서 현재의 시간과 작업 register에 기억된 작업 시간을 비교하여

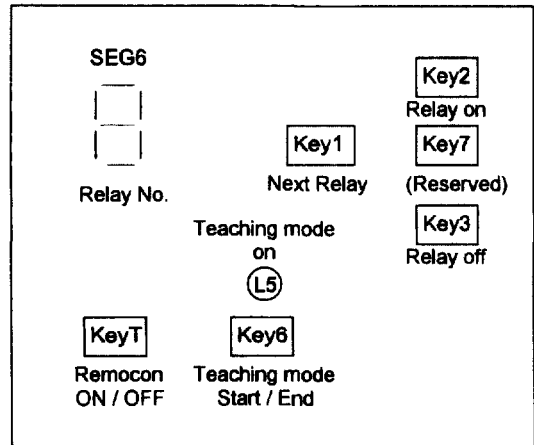


Fig. 5. Layout of the display and key units of the remote controller of the controller.

7-segment and keys are identical to those in Fig. 4.

Table 3. Functions of the key and displaying LED of the remote key module

Parts	Function
Key T	Activation of remote control (ON)
Key 1	Selection of relay number under control
Key 2	Activation of relay (ON)
Key 3	Deactivation of relay (OFF)
Key 6	Start and end of teaching mode operation
Key 7	Reserved (not used)
SEG 6	Display of relay No. activated
L6	Indication of teaching mode status

정해진 시간에 기억된 작업을 수행하고, 다음에 수행 될 작업 내용을 작업 register에 옮긴 후에 주프로그램으로 돌아간다. 그리고 controller가 reset에 의해 재 기

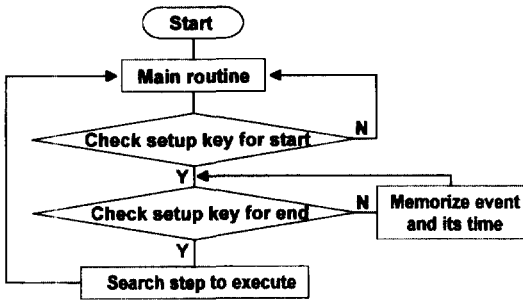


Fig. 6. Flowchart of the teaching mode subroutine.

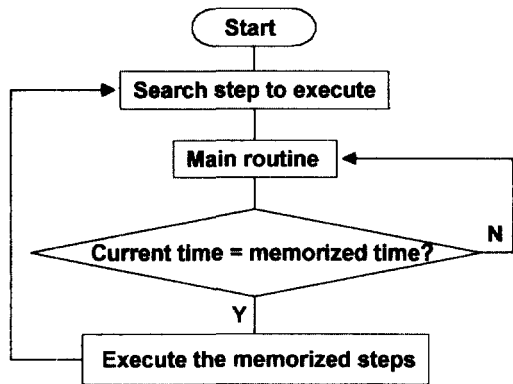


Fig. 7. Flowchart of the working mode subroutine.

동되거나 작업자가 제어기의 시간을 바꿀 경우에는 새롭게 setting 되어진 시간과 기억된 작업 전체를 다시 비교하여 작업 register의 내용을 갱신하도록 하여 오동작을 방지하였다. Fig. 7은 기억된 선행 작업을 수행하는 프로그램의 순서도이다.

**선행 작업 기억 기능에 의한 취반결과**

취반 시스템을 이용하여 선행 작업 기억 기능 상태에서 숙련자가 5, 10인분의 밥을 짓도록 하고, 각 공정 단계별로 공정 변수의 상태를 참조하여 수행하는 각 단위조작을 제어하는 작업 과정을 제어하도록 하였다. 한편 동일 분량의 쌀을 이용하여 제어장치가 선행 기억 작업을 자동으로 취반 공정을 수행하도록 한 결과 모든 작업을 정확히 수행하였다. 반복 수행 횟를 20회이상 수행한 결과 반복 시행 사이에는 아무런 오차도 발견할 수 없었다.

취반이 완료된 후 밥의 조직감을 측정한 결과 Table 4 와 같이 숙련자에 의해 만들어진 밥과 동일한 품질의 제품을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 제작된 선행 작업 기억 제어기는 숙련자의 모든 작업을 시간을 기준으로 하여 기억함으로써

**Table 4. Texture properties of cooked rice prepared by manual and automated cooking system**

Texture Properties	Cooked rice prepared*	
	by manual operation	by automated operation
Hardness (g)	2582.9	2545.2
Springiness	0.59	0.78
Gumminess	645.08	604.77
Cohesiveness	0.25	0.24
Adhesiveness	-476.36	-467.94
Chewiness	347.96	472.55

\*: Averaged data from 20 runs

써 작업자가 프로그램 능력이 없어도 공정을 자동화할 수 있음을 입증하였고, 512 byte의 EEPROM을 사용하므로 약 170개 정도의 작업을 기억할 수 있어 넓은 활용범위를 가질 수 있다고 본다. 따라서 취반공정과 유사한 농업 및 식품 가공 공정들의 자동화에 사용될 수 있을 것이다.

**요 약**

식품 및 농업 공정을 자동화하기 위한 학습 기능 제어 장치를 MC68HC711E9을 사용하여 설계, 제작하였고, 이를 취반 공정 자동화에 적용하였다. 취반 장치는 계량, 수송, 세미, 취반 조작들로 구성하였다. 제어기는 취반 공정의 온도, 부피, 수위 등의 신호를 수집할 수 있는 8개의 아날로그 입력 포트와 밸브, 계전기, 모터 등을 제어 할 수 있는 릴레이 모듈로 구성하였다. 그리고 직렬 통신을 사용하여 공정을 실시간 관찰할 수 있도록 하였고, 실시간 기준의 공정 변수와 공정 상황을 표시하기 위하여 숫자 표시 LED 장치를 갖도록 하였다. 제어기 조작용 키는 제어기 조작반과 원격 제어용 키로 구성하였다. 제어 장치의 운영 프로그램은 독립적으로 또는 원격 제어 키에 의한 선행 기억 모드에서 동작하는 두 가지 기능을 갖도록 하였다. 선행 기억 모드에서는 식품 및 농업 공정에서 170여개의 작업 내용과 그 해당 시간을 전기적 소거가 가능한 EEPROM 내에 기록하도록 하였다. 이 제어 장치를 취반 공정에 적용한 결과 숙련자에 의해서 수동 취반된 밥과 이 공정을 학습한 제어기에 의해서 제조된 밥의 조직감은 동일한 결과를 보였다.

**감사의 글**

본 연구는 문화체육부 자유 공모 과제(농업 및 식품 공정자동화를 위한 선행작업기억 공정제어 시스템의

개발)의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

권 순희. 1995. 다기능 농업용 제어장치의 설계 및 운영 프로그램 개발, 서울대학교 석사 학위 논문.  
 김 경만. 1989. Single chip microcomputer를 이용한 탁주 발효의 자동 계측과 제어 방법의 개발, 서울대학교 석사학위 논문.  
 이영진. 1988. 발효 공정중 기포 발생 감지 장치의 제작과 발효 공정 제어 장치의 개발, 서울대학교 석사학위 논문.  
 이영진. 1993. 취반 자동화를 위한 공정간의 연계 시스템의 개발, 서울대학교 석사학위 논문.  
 이 영진, 황선욱, 김상권, 박윤서, 전재근. 1995. 전기밥솥에서 보온중인 밥의 조직감 변화, 한국농화학회지 **38(5)**: 422-424

이영진. 1996. 즉석생면 공장의 컴퓨터 통합 제조 관리 시스템, 서울대학교 박사학위 논문.  
 전정열. 1992. One chip microcomputer를 이용한 식품 제조 공정의 실시간 제어 장치의 개발, 서울대학교 석사학위 논문.  
 Choi N.Y., Chun J.K. 1996. Development of a microcontroller-based process controller for on-line monitoring of *Kimchi* fermentation. *Foods and Biotechnology* **5(3)**: 198-200.  
 Motorola. 1989. MC68HC11 Reference manual.  
 Motorola. 1990. MC68HC11E9 Programming reference guide.  
 Motorola. 1991a. MC68HC711E9 Technical and data manual.  
 Motorola. 1991b. PCbug11 User's manual.  
 Motorola. 1992. M68HC11EVM Evaluation module user's manual.  
 Texas Instruments. 1995. TMS73 Family data manual.