เครื่องเฉลี่ยสัญญาณด้วยตัวประมวลผลสัญญาณเชิงตัวเลข
สำหรับระบบสร้างภาพด้วยเอ็นเอ็มอาร์

นายพิสิฐ ดำรงค์กิจการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-402-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018687

DIGITAL SIGNAL PROCESSOR-BASED SIGNAL AVERAGER FOR NMR IMAGING SYSTEMS

Mr. Phisit Damrongkijkarn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-402-4

เครื่องเฉลี่ยสัญญาณด้วยตัวประมวลผลสัญญาณเชิงตัวเลข
สำหรับระบบสร้างภาพด้วยเอ็นเอ็มอาร์

นายพิสิฐ ดำรงค์กิจการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-402-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018687

DIGITAL SIGNAL PROCESSOR-BASED SIGNAL AVERAGER FOR NMR IMAGING SYSTEMS

Mr. Phisit Damrongkijkarn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Physics
Graduate School
Chulalongkorn University
1992

ISBN 974-581-402-4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	Digital Signal Processor-Based Signal Averager for NMR Imaging Systems
By	Phisit Damrongkijkarn
Department	Physics
Thesis Advisor	Associate Professor Wijit Senghaphan, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

Thavorn Vajrabhaya

..... Dean of Graduate School

(Professor Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)

Thesis Committee

..... Chairman

(Associate Professor Bhiyayo Panyarjun, Ph.D.)

..... Thesis Advisor

(Associate Professor Wijit Senghaphan, Ph.D.)

..... Member

(Associate Professor Phietoon Trivijitkasem, DR.ING)

..... Member

(Associate Professor Thaworn Souttipongse, M.Sc.)

C025407 : MAJOR PHYSICS
KEY WORD : DIGITAL SIGNAL PROCESSOR/SIGNAL AVERAGER/NMR IMAGING
PHISIT DAMRONGKIJKARN : DIGITAL SIGNAL PROCESSOR-BASED SIGNAL AVERAGER FOR NMR IMAGING SYSTEMS. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF.WIJIT SENGHAPHAN, PH.D. 120 PP. ISBN 974-581-402-4

A digital signal processor-based signal averager for NMR imaging systems based on TMS32010 has been developed. NMR signal is extracted from noisy background by the signal averager and stored in the digital memory. Averaging computation is implemented through the developed software based on averaging algorithms. The structure of memory can be defined by specifying the number of rows and columns of the desired memory-array. The acquired information is transferred to the host computer via a standard RS232 communication port which can be stored on the magnetic storage for later processing. Operating procedures are controlled by a microprocessor based on Intel 8032. A BASIC-language program and an assembly-language program have been developed for the 8032 to communicate with user via a liquid crystal display and a rotary encoder. The signal averager offers a high degree of flexibility at a moderate cost.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิสิฐ คำรงค์กิจการ : เครื่องเฉลี่ยสัญญาณด้วยตัวประมวลผลสัญญาณเชิงตัวเลขสำหรับระบบสร้างภาพด้วยเอ็นเอ็มอาร์ (DIGITAL SIGNAL PROCESSOR-BASED SIGNAL AVERAGER FOR NMR IMAGING SYSTEMS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิจิตร เส็งหะพันธุ์, 120 หน้า.
ISBN 974-581-402-4

เครื่องเฉลี่ยสัญญาณสำหรับระบบสร้างภาพด้วยเอ็นเอ็มอาร์ ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยตัวประมวลผลสัญญาณเชิงตัวเลขเบอร์ TMS32010 สัญญาณเอ็นเอ็มอาร์ที่ได้รับการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเครื่องเฉลี่ยสัญญาณจะถูกจัดเก็บในหน่วยความจำเชิงตัวเลข การคำนวณที่ใช้ในการเฉลี่ยจะทำงานโดยชุดคำสั่งที่ได้พัฒนาขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับวิธีการที่ใช้ในการเฉลี่ย โครงสร้างของหน่วยความจำสามารถกำหนดได้โดยการบ่งจำนวนแถวและหลักของแถวลำดับหน่วยความจำที่ต้องการ ข้อมูลที่ได้มาถูกส่งผ่านไปยังระบบคอมพิวเตอร์หลักผ่านทางช่องติดต่อมาตรฐานชนิด RS232 ซึ่งสามารถนำไปจัดเก็บในหน่วยสะสมชนิดแม่เหล็กเพื่อรับการประมวลผลในภายหลัง ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 8032 ถูกนำมาใช้ในการควบคุมขั้นตอนของการใช้งานเครื่องเฉลี่ยสัญญาณ ชุดคำสั่งภาษาเบสิคและชุดคำสั่งภาษาแอสเซมบลีได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับ 8032 เพื่อให้สามารถทำการติดต่อกับผู้ใช้โดยผ่านทางอุปกรณ์แสดงผลชนิดผลึกเหลวและอุปกรณ์เข้ารหัสชนิดหมุน เครื่องเฉลี่ยสัญญาณที่ได้มีความคล่องตัวในการใช้งานสูงโดยมีราคาที่ต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต พิสิฐ คำรงค์กิจการ
สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his appreciation to Dr.Wijit Senghaphan for his advice and criticizing the manuscript. He also would like to thank Assoc. Prof. Bhiyayo Panyarjun, Assoc. Prof. Phietoon Trivijitkasem, and Assoc. Prof. Thaworn Souttipongse for reading and criticizing the manuscript.

He wishes to thank Mr.Itti Srisumalai for his assistance concerning the system software.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TABLE OF CONTENTS

page

ABSTRACT iv
ACKNOWLEDGEMENTS vi
TABLE OF CONTENTS vii
LIST OF TABLES xi
LIST OF FIGURES xii
Chapter 1 Introduction 1
Chapter 2 Basic Theory of NMR Imaging 3
Introduction 3
Basic Theory of NMR 3
Basic Theory of NMR Imaging 10
Direct Fourier Imaging 11
Imaging Modes 13
1. Saturation Recovery Imaging 13
2. Inversion Recovery Imaging 14
3. Spin-Echo Imaging 14
Parameter Imaging Methods 14
1. Spin-Lattice Relaxation Time and Spin-Spin Relaxation Time 14
2. Flow Imaging 14
3. Chemical-Shift Imaging 15
Chapter 3 NMR Imaging System Configurations 16
Introduction 16
NMR Imaging System Instrumentation 17
1. Main Computer Unit 17
2. Pulse Programmer Unit 18
3. Pulse Shaper Unit 18
4. Gradient Power Amplifier and Gradient Coil Unit 18
5. Modulator and RF Power Amplifier Unit 19
6. Coupler Unit 19
7. Receiver Amplifier 19
8. Demodulator Unit 19
9. Data Acquisition Unit 19
Chapter 4 The Mechanism of Signal Averager 20
Introduction 20

page

Signal Averager Configurations 20
Multiplexers Unit 21
Sample-and-Hold Unit 21
Analog-to-Digital Convertor (ADC) Unit 22
Timing and Control Unit 22
Arithmatic Unit 23
1. Linear Summation Averaging 23
2. Normalized Averaging 24
3. Exponential Averaging 24
Memory Unit 24
Digital-to-Analog Convertor (DAC) Unit 25
Interface Logic Unit 25
Chapter 5 Digital Signal Processor 26
Introduction 26
Signal Processing 26
Digital Signal Processor 27
TMS32010 28
1. Architecture 28
1.1 Harvard Architecture 29
1.2 Arithmetic Elements 31
1.2.1 ALU 31
1.2.2 Accumulator 32
1.2.3 Multiplier 32
1.2.4 Shifters 32
1.3 Data Memory 32
1.4 Registers 32
1.4.1 Auxiliary Registers 32
1.4.2 Auxiliary Register Pointer 33
1.5 Program Memory 33
1.6 Program Counter and Stack 33
1.6.1 Program counter 33
1.6.2 Stack 34
1.7 Status Register 34
1.8 Input/Output Functions 34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

page

1.8.1 Input and Output 34
1.8.2 Table Read (TBLR) and Table Write (TRLW) 34
1.9 BIO Pin 34
1.10 Interrupt 34
1.11 Reset 35
1.12 Clock and Oscillator 35
1.13 Pin Descriptions 35
2. Instructions 37
3. Methodology for Application Development 38
Chapter 6 Description of DSP-Based Signal Averager Hardware 40
Introduction 40
Specifications 41
1) Signal Input 41
2) Memory 41
3) Signal Processing 41
4) System Operational Controls 41
5) System Output Functions 41
Description of the Hardware Section 41
1) Memory Part 42
1.1) TMS320 Program Memory 42
1.2) Data Memory 42
2) MCS32 Part 43
2.1) 8032 and BASIC Interpreter ROM 43
2.2) BASIC Program ROM and TMS320 Program ROM 43
2.3) Backup RAM 43
2.4) Interface Logic 44
3) TMS320 Part 44
4) TMS320 IO Part 44
4.1) Analog to Digital Convertor 45
4.2) Digital to Analog Convertor 45
4.3) Timing Control 45
5) Analog Part 45
Chapter 7 Description of DSP-Based Signal Averager Software 46
Introduction 46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

page

MCS32 Control Program 46
MCS32 Command/Statement Extension Program 47
1) LCD Interfacing Program 47
2) Optical Encoder Interfacing Program 48
TMS32010 Signal Processing Program 48
Chapter 8 Discussion and Summary 50
Discussion 50
Summary 51
BIBLIOGRAPHY 52
APPENDIX 54
Appendix A Circuit Diagrams 55
Appendix B Printed Circuit Board Layouts 60
Appendix C Software Listing 75
Source Code for MCS32 Control Program 75
Source Code for MCS32 Command/Statement Extension Program 84
Source Code for TMS320 Signal Processing Program 104
Appendix D Operating Instructions 111
Introduction 111
Front Panel 111
Rear Panel 112
Operating Procedures 113
1. Mode Menu 114
2. Configuration Menu 114
3. Routine Menu 115
4. Averager Menu 115
5. Data Transfer Menu 116
6. Post Processor Menu 116
Appendix E TMS32010 Instruction Summary 117
VITA 120

LIST OF TABLES

Table		page
5-1	TMS32010 Pin Descriptions	35
E-1	Accumulator Instructions	117
E-2	Auxiliary Registers and Data Page Pointer Instructions	118
E-3	T Register, P Register, and Multiply Instructions	118
E-4	I/O and Data Memory Operations	118
E-5	Control Instructions	119
E-6	Branch Instructions	119

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Figure		page
2-1	Spins in a magnetic field H_0. (a) Spins precess in two energy states. (b) Net spin magnetization vector M_0.	4
2-2	Spin magnetization in the rotating frame. (a) Spin in the absence of RF pulse. (b) Spin flip with an application of the RF field H_1.	6
2-3	FID signal obtained indicates a modulated decaying signal	7
2-4	Spins decay by spin-lattice relaxation mechanism	7
2-5	Sequential illustrations of spin relaxation processes. (a) Spins are flipped by the RF pulse. (b) Spins are dephased due to spin-spin relaxation and field inhomogeneity. (c) FID signal decays to zero as the spins lose phase coherence. (d-f) spins relax to the original equilibrium state by the spin-lattice relaxation process.	8
2-6	Hahn spin echo. (a) Spin magnetization dephase after 90° rotating by RF pulse. (b) 180° pulse is applied along x' axis. (c) The spins are being refocused. (d) Spin echo is generated along -y' axis	9
2-7	CPMG spin echo. (a) Spin magnetization dephase after 90° rotating by RF pulse. (b) 180° pulse is applied along y' axis. (c) The spins are being refocused. (d) Spin echo is generated along y' axis	10
2-8	Imaging sequences of 2-D direct Fourier imaging. The slice in the z direction is selected and spin echo is used.	13
3-1	Block Diagram of the general CT system.	16
3-2	Block diagram of a typical NMR imaging system.	17
4-1	Block diagram of signal averager	21
4-2	Typical sample/hold waveform	22
5-1	Block diagram of TMS32010.	30
5-2	The instruction prefetch and execution cycles of Harvard architecture	31
5-3	TMS32010 memory map.	33

Figure page

5-4 Flowchart of application development. 39

6-1 Block diagram of DSP-based signal averager hardware..... 40

6-2 Simplified block diagram of the 5 hardware parts. 41

6-3 Block diagram of the memory parts. 42

6-4 Block diagram of the MCS32 parts. 43

6-5 Block diagram of the TMS320 parts. 44

6-6 Block diagram of the TMS320 IO parts..... 44

6-7 Block diagram of the analog parts. 45

7-1 Flowchart of the MCS32 control program. 47

7-2 Flowchart of the TMS32010 signal processing program. 49

A-1 Circuit diagram of memory part. 55

A-2 Circuit diagram of MCS32 part. 56

A-3 Circuit diagram of TMS320 part..... 57

A-4 Circuit diagram of TMS320 IO part..... 58

A-5 Circuit diagram of analog part..... 59

B-1 Component side layout of memory part PCB. 60

B-2 Solder side layout of memory part PCB. 61

B-3 Component overlay of memory part PCB..... 62

B-4 Component side layout of MCS32 part PCB..... 63

B-5 Solder side layout of MCS32 part PCB. 64

B-6 Component overlay of MCS32 part PCB. 65

B-7 Component side layout of TMS320 part PCB. 66

B-8 Solder side layout of TMS320 part PCB. 67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Figure page

B-9 Component overlay of TMS320 part PCB..... 68

B-10 Component side layout of TMS320 IO part PCB..... 69

B-11 Solder side layout of TMS320 IO part PCB..... 70

B-12 Component overlay of TMS320 IO part PCB..... 71

B-13 Component side layout of analog part PCB. 72

B-14 Solder side layout of analog part PCB. 73

B-15 Component overlay of analog part PCB..... 74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย