

БИОМЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА



Выходит с 1998 года

Научно-прикладной журнал

Главный редактор: академик Ю.В.ГУЛЯЕВ

Редакционная
коллегия:

Л.П.Андрианова, к.т.н. В.Р.Анпилогов, проф. О.В.Бецкий (зам. главн. ред.), проф. Э.А.Гельвич, проф. М.Б.Голант, акад. Н.Д.Девятков, д.т.н. К.В.Зайченко, П.И.Зудков, д.ф.-м.н. В.В.Кислов, проф. В.Я.Кислов, к.м.н. А.Ю.Лебедева, д.б.н. Н.Н.Лебедева, к.т.н. И.В.Лишин, Н.П.Майкова, проф. В.П.Невзоров, проф. Ю.В.Обухов, проф. Н.И.Синицын, проф. Ю.А.Холодов, к.ф.-м.н. Ю.П.Чукова, д.т.н. С.И.Щукин

Редактор выпуска доктор физико-математических наук, профессор О.В.БЕЦКИЙ

Содержание

№ 8

1999

МЕДИЦИНА И БИОТЕХНОЛОГИЯ Medicina and Biotechnology



Микропроцессорные системы самоконтроля жизненно важных физиологических функций человека.

Юматов Е.А.

Micro-processor Systems for Self-control of Human Vital Physiological Functions.
E.A.Yumatov

3



Перспективы применения методов флуоресцентной спектроскопии для исследования твердых тканей зуба.

Таубинский И.М., Александров М.Т., Козьма С.Ю., Черный В.В.

Perspectives of Studying of Own Fluorescence of Dental Solid Tissues.
I.M.Taubinsky, M.T.Alexandrov, S.Yu.Kozma, V.V.Cherni

13

Особенности микроволнового размораживания объемных биологических объектов.

Макаров В.Н.

Features of Microwave Defrosting of Volume Biological Objects.
V.N.Makarov

19

МЕХАНИЗМЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ Mechanisms of Biological Effects of Electromagnetic Fields



Преобразование светового потока в последовательность нервных импульсов в фоторецепторах органов зрения.

Матвеев Д.Е.

Conversion of Light Stream into Concession of Nervous Impulses Inside of Photo Receptors in Organs of Sight.
D.E.Matveev

26

ЭКСПЕРИМЕНТ Experiment

Исследование модифицирующего действия на биологические объекты электромагнитных излучений низкой интенсивности в комплексе воздействия их с ионизирующими потоками энергии.

Даровских С.Н., Толстых Е.И., Разживин А.А., Шаров В.Б., Тряпицина Г.А., Овсянников Н.В.

The Investigation of Modifying Action of Low Intensive Radiation in Complex with Ionizing Currents of Energy on Biologic Objects.
S.N.Darovskiyh, E.I.Tolstih, A.A.Razzhivin, V.B.Sharov, G.A.Tryapitssina, N.V.Ovsyaannikov

31

УСТРОЙСТВА Equipment



Антенны-аппликаторы для резонансно-волновой КВЧ/СВЧ-радиоспектроскопии природных образований.

Петросян В.И., Синицын Н.И., Елкин В.А., Россошанский А.В., Башкатов О.В., Гречкин С.В., Разумник Д.А.

Applicator Antennas for the Resonant Wave EHF/MW Radiospectroscopy of Natural Formations.

V.I.Petrosyan, N.A.Sinitsyn, V.A.Jolkin, A.V.Rossoshanskii, O.V.Bashkatov, S.V.Grechkin, D.A.Razumnik

36



Измерители микционного дебита и объема выделенной мочи (урофлоуметры) поплавкового типа.

Климов В.А., Коблова Н.Г., Кольцова М.В., Олейник Н.Г., Павлючук В.А., Харитонов И.Б.

A floatype Apparatus for determination of Urine Debit and Volume (Uroflowmeters).

V.A.Klimov, N.G.Koblova, M.V.Koltsova, N.G.Oleynik, V.A.Pavlyuchuk, I.B.Kharitonov

43

Новое в ультразвуковой технике: от эхотомоскопов к ультразвуковой микроскопии.

Слюсар В.И.

New in Ultrasound Technics: for Echotomosopes to Ultrasound Microscopes.

V.I.Slyusar

49

Список статей, опубликованных в журнале "Биомедицинская радиоэлектроника" за 1999 год.

54

На нашей странице в Internet — <http://www.glasnet.ru/~zaoiprzhr/>
Вы можете увидеть содержание очередного номера журнала с аннотациями
к статьям за месяц до выхода его в свет.

Учредитель: ЗАО "Издательское предприятие редакции журнала "Радиотехника".



Журнал зарегистрирован в Государственном комитете РФ по печати.
Свидетельство о регистрации № 0162 от 10 июня 1997 г.

Выходит при участии:

Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова,
Института радиотехники и электроники АН РФ,
Медико-технической ассоциации КВЧ,
МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Зав. редакцией: Н.П.Майкова

Редактор: О.Н.Максурова

Корректор: Р.М.Ваничкина

Сдано в набор 15.11.99. Подписано в печать 10.12.99. Формат 60 x 88 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура "Кудряшевская энциклопедическая". Печать офсетная. Печ. л. 7. Изд. № 40.

Адрес ИПРЖР: 103031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6. Тел. 925-9241. Тел./факс 921-4837.

E-mail: zaoiprzhr@glasnet.ru

<http://www.glasnet.ru/~zaoiprzhr/>

Лицензия № 065229 от 20 июня 1997 г. Государственного комитета РФ по печати.

Компьютерная верстка Издательского предприятия редакции журнала "Радиотехника".

Подольская типография Чеховского полиграфического комбината Комитета по печати РФ. 142110, г.Подольск, ул.Кирова, д.25. Зак. № 95

© Издательское предприятие редакции журнала "Радиотехника", 1999 г.

Новое в ультразвуковой технике: от эхотомоскопов к ультразвуковой микроскопии

В.И.Слюсар

Проанализированы преимущества цифрового диаграммообразования многоэлементных ультразвуковых датчиков как базовой технологии нового поколения диагностических систем. Рассмотрены особенности построения типичных представителей ультразвуковых многоканальных платформ с цифровыми решетками излучателей, отмечены основные тенденции их развития.

The analysis of advantage the digital beamforming of multielement ultrasound gauges as base technology for new generations of diagnostic systems are presented. The features of construction of the typical ultrasound multichannels platforms with digital array transducer representatives are considered and the main tendencies them development are marked.

За последние 5 лет в развитии средств ультразвуковой диагностики произошли серьезные изменения. Во многом они явились следствием заметного роста возможностей вычислительной техники и цифровых технологий в целом.

Основным, наиболее впечатляющим достижением можно считать внедрение цифрового формирования луча ультразвуковых датчиков. Хотя пока что в них преобладает использование линейных решеток излучателей, в этом смысле средства ультразвуковой диагностики, пожалуй, впервые за время своего существования опередили в развитии радиолокационные системы, в которых масштабное внедрение цифровых антенных решеток (ЦАР) заметно задержалось.

Обилие компаний, использующих сегодня технологию цифрового формирования диаграмм направленности в ультразвуковых томоскопах, позволяет говорить о новом стандарте в диагностическом оборудовании подобного типа. Достижения микроэлектроники наконец-то в полной мере продемонстрировали бесспорные преимущества полноценной цифровой обработки сигналов. Основные из них, применительно к ультразвуковому оборудованию, сводятся к следующему:

- ✓ при цифровом представлении ультразвуковых данных возможны запоминание и задержка практически на неограниченное время больших информационных массивов, их быстрого и точного воспроизведения, копирования и многократной модификации без снижения общей производительности системы;
- ✓ цифровые средства позволяют использовать многочисленные программные фильтры, улучшающие восприятие ультразвуковых изображений, а также более изощренные методы визуализации тонких анатомических структур, эффективной поддержки геометрических



**Вадим Иванович
Слюсар** —

*к.т.н., с.н.с. Центрального
научно-исследовательского
института вооружения и военной
техники Вооруженных Сил
Украины, нач.*

научно-исследовательского отдела.

*Научные интересы:
цифровая обработка сигналов,
цифровые антенные решетки в
радиолокации, связи, гидроакустике
и ультразвуковой технике,
e-mail: swadim@profit.net.ua*

преобразований с детальнейшими текстурами для описания поверхности объектов. В результате существенно улучшаются диагностические возможности аппаратуры;

- ✓ в настоящее время только цифровая обработка обеспечивает близкие к потенциальным точность оценивания параметров сигналов, их осевое, поперечное и контрастное разрешение с улучшенной дифференциацией тканей по яркостному признаку благодаря высокому, недостижимому в аналоговой технике, динамическому диапазону;
- ✓ для цифровой аппаратуры присущи длительная стабильность характеристик тракта обработки, без частой калибровки, за счет отсутствия свойственных аналоговым цепям параметрических уходов и потерь, и, как следствие, высокая эксплуатационная надежность;
- ✓ на основе цифровых технологий может быть достигнута максимальная унификация узлов и блоков, большая компактность диагностических приборов, удобство сопряжения с ЭВМ, простота реконфигурации и модернизации ультразвуковых систем путем замены программного обеспечения, автоматизация эксплуатации и, наконец, адекватность цифрового моделирования;
- ✓ осуществление цифрового формирования диаграмм направленности в ультразвуковых платформах позволяет повысить идентичность приемных каналов, скорректировать их амплитудно-фазовые характеристики под заданный эталон, устранив неизбежные технологические погрешности, возникающие в процессе изготовления;
- ✓ цифровое диаграммообразование впервые позволило реализовать динамическое фокусирование датчика по глубине излучения за счет изменения весовых коэффициентов фазирования в зависимости от номера дискрета АЦП или их группы. При этом возможно достаточно гибко управлять размерами, формой, направлением и интенсивностью ультразвуковых лучей;
- ✓ реализация концепции ЦАР открывает возможности по существенному сокращению времени формирования ультразвуковых изображений за счет приема сигналов во всем рабочем

секторе, реализации сверхрелеево-разрешающей способности по направлениям прихода, частоте и времени задержки сигналов.

Примером такого рода приборов, удачно сочетающих в себе максимальный набор технологических новшеств, можно считать семейство диагностического оборудования фирмы General Electric (США) [1]*, представленное на сегодняшний день цифровыми платформами LOGIC 400 MD, LOGIC 500 MD и LOGIC 700 MR. Перечисленные устройства несколько отличаются своим предназначением и характеристиками, однако имеют одну и ту же фундаментальную структуру: цифровой формирователь луча с цифровой задержкой сигналов и их суммированием, а также полностью цифровая обработка акустических данных. По количеству элементов в решетке излучателей (1024 × 4) LOGIC 700 MR с полным правом может быть отнесен к числу лидеров. В процессе изготовления его датчиков используется перспективная технология активных матричных кристаллов, позволяющая осуществлять эффективную динамическую фокусировку луча в двух плоскостях (рис.1, правый фрагмент).

Новые материалы и методы сборки сканеров способствовали повышению их чувствительности, расширению линейного динамического диапазона акустических преобразователей, повышению частоты несущей сигнала. К примеру, совокупность новых технологических решений совместно с цифровой обработкой данных позволила обеспечить проникающую способность датчика (12 МГц) в LOGIC 700 MR на уровне, характерном для традиционных систем с частотой несущей 5 МГц. Достигнутое за счет повышения номинала несущей улучшение качества изображения продемонстрировано на рис.2.

Среди других производителей, успешно решивших проблемы цифрового диаграммообразования в ультразвуковых сканерах, можно отметить известную компанию Analog Devices. На рис.3 показаны основные подсистемы ее типичной ультразвуковой платформы с цифровым диаграммообразованием [2]. В передающей части схемы происходит генерация ультразвукового пакета (от 1 до 13 МГц) в электромеханическом пьезоэлектрическом преобразователе, физически контактирующем с поверхностью тела. Хотя на рис.3 показан только

* В списке литературы указаны Интернет-адреса, поскольку некоторые из них существуют только в электронной версии.

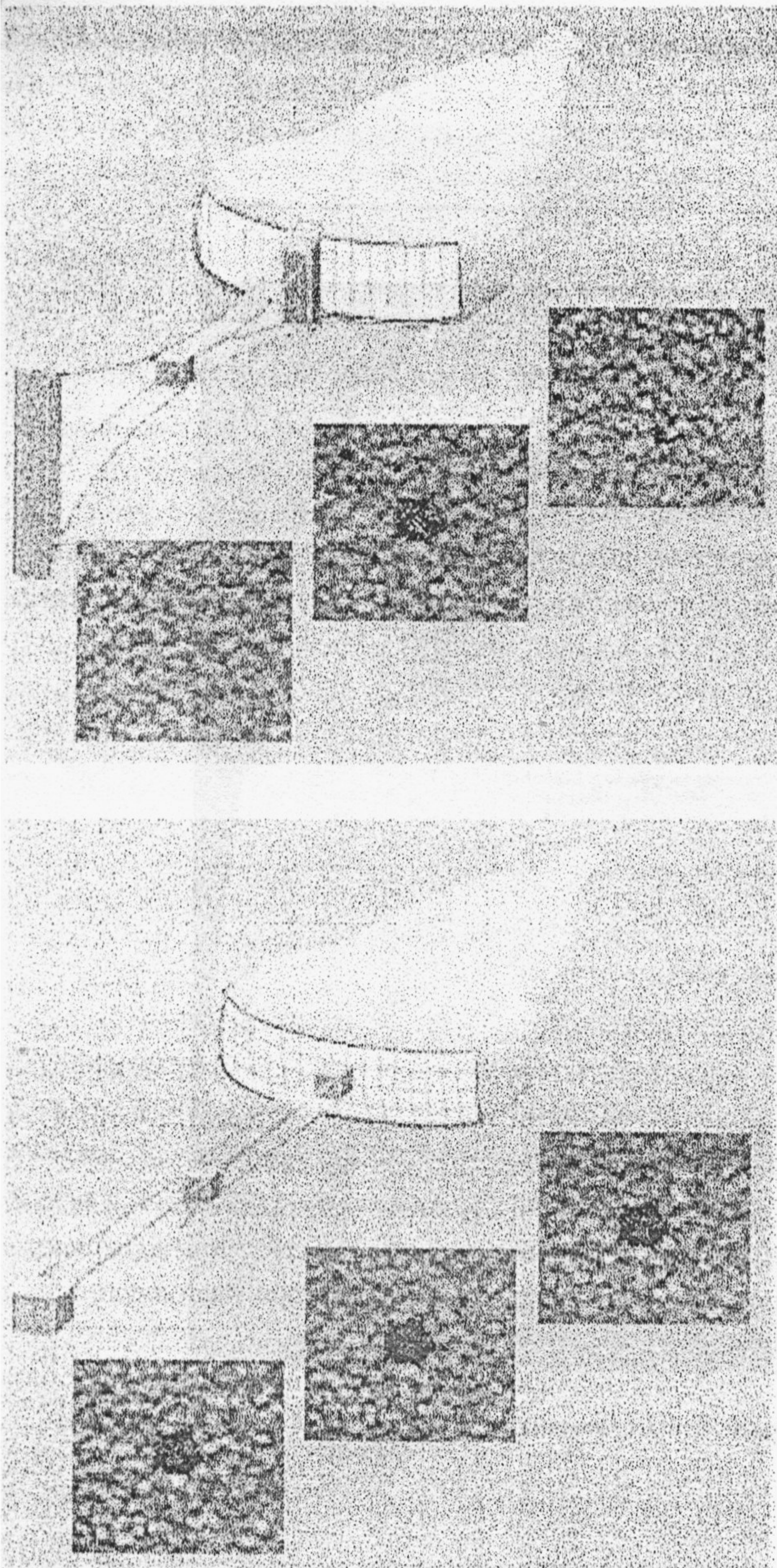


Рис.1. Угловое разрешение ультразвуковой системы с традиционным формированием луча (сверху) и с цифровой динамической фокусировкой (снизу)

один из каналов обработки сигналов, в типичной цифровой диаграммообразующей схеме ультразвуковой системы от Analog Devices их может быть до 256. По выходу датчика в каждом приемном канале имеется усилитель с цифровой временной регулировкой усиления типа AD600/602/603, компенсирующей потери в энергетике эхосигналов, прихо-

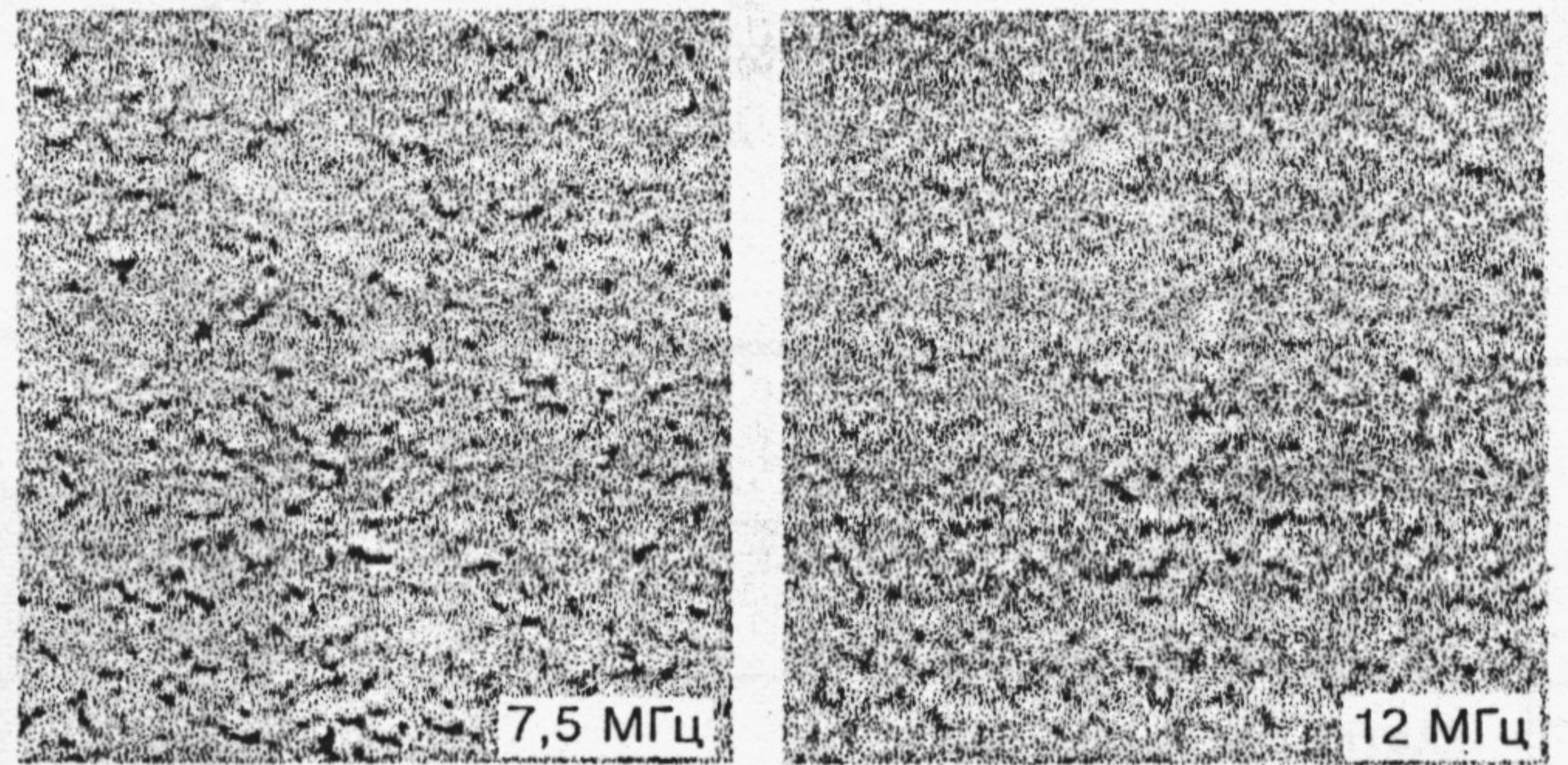


Рис.2. Эхограммы фантомов, полученные в приборе LOGIC 700 MR с датчиками 7,5 и 12 МГц соответственно



Рис.3. Основные подсистемы ультразвуковой платформы фирмы Analog Devices

дящих с глубины тела. В качестве АЦП наиболее часто применяются 10-разрядные АЦП AD 9040A с частотой дискретизации 40 МГц. Полученные в результате аналого-цифрового преобразования сигналы далее суммируются и обрабатываются в сигнальном процессоре, функции которого реализуются на ADSP-2171, ADSP-2181 или ADSP-21062. На схеме представлены также доплеровский канал для измерения скорости кровотока и канал визуализации ультразвуковой картины. В целом рассмотренные приборы фирмы Analog Devices

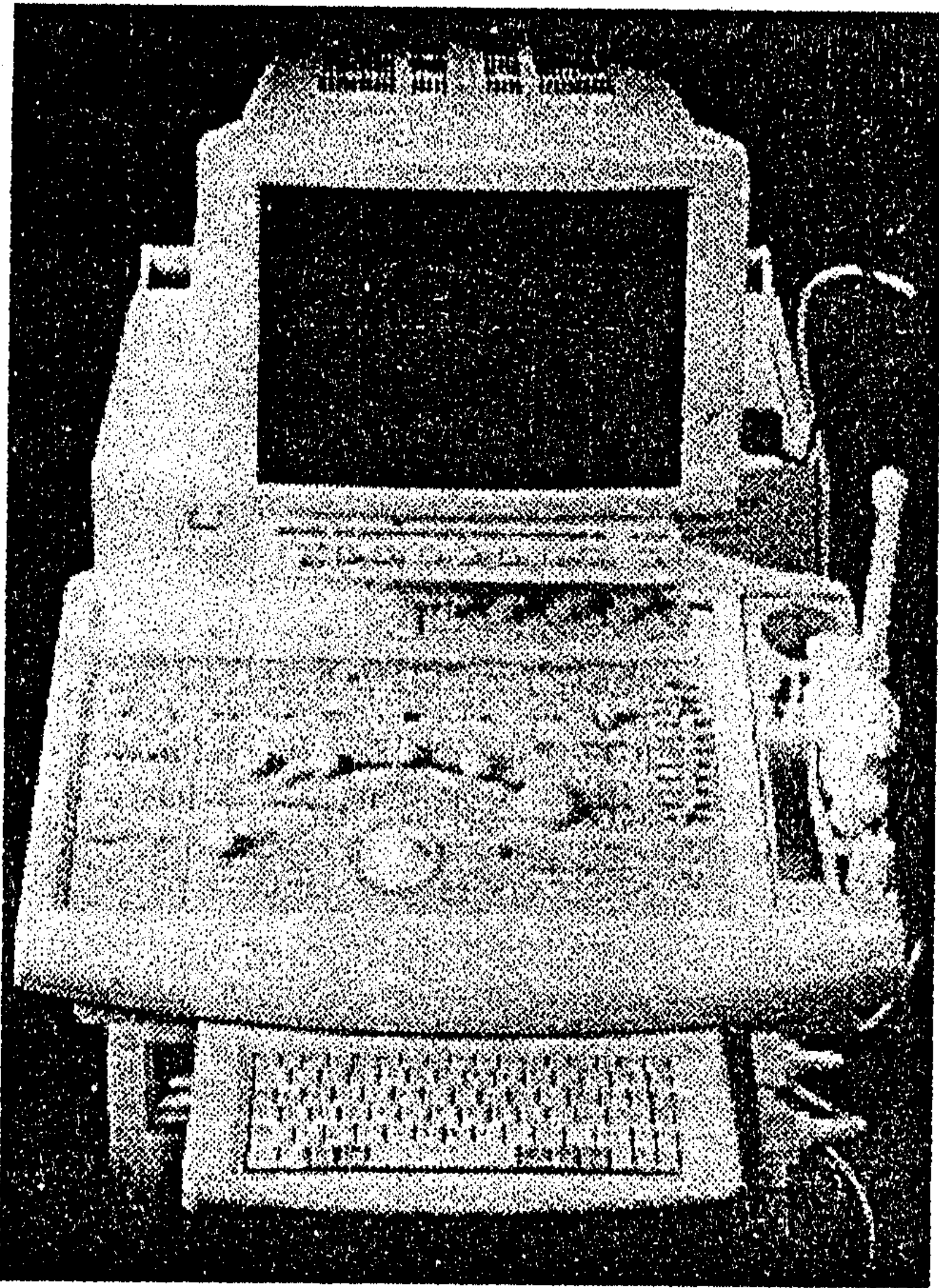


Рис.4. Ультразвуковая система EUB-8000 компании Hitachi

являются хорошим примером реализации новейших технологий на достаточно распространенной и отнюдь неэкзотичной элементной базе.

Наиболее усовершенствованная доплеровская обработка предусмотрена в новой ультразвуковой системе компании Hitachi EUB-8000 [3] (рис.4), блок-схема цифрового диаграммоформирователя которой представлена на рис.5. Сигналы 128-элементного датчика одновременно оцифровываются 128 АЦП, по выходам которых формируются четверки пространственных каналов, используемые для прецизионной селекции кровотока и визуализации эхограмм. В системе обеспечивается динамическая фокусировка луча по глубине, многомерная аподизация.

В отличие от Hitachi и Analog Devices, представляющих на рынке лишь небольшой набор ультразвуковых систем с ЦАП, достаточно большой

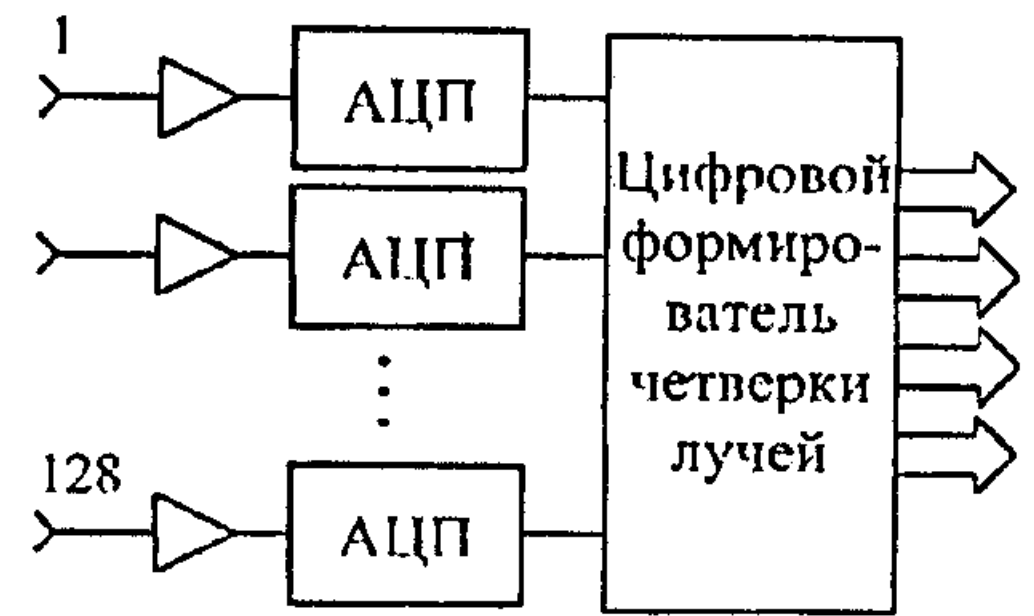


Рис.5. Цифровой формирователь лучей в ультразвуковой системе EUB-8000 фирмы Hitachi

опыт разработки диагностического оборудования с цифровым диаграммообразованием имеет компания ATL Ultrasound Inc. (США) [4], производящая приборы семейства HDI (High Definition Image). К ним относятся HDI-1000, HDI-3000 и новая система HDI-5000. Последняя имеет 512 широкополосных цифровых каналов, обеспечивающих динамический диапазон сигналов приблизительно 150 дБ [5]. Процессор формирования изображения обеспечивает быстроедействие более 14 млрд. опер./с, что позволило реализовать полностью цифровое широкополосное диаграммообразование. В HDI-5000 достигнуты новые уровни чувствительности к профилю гемодинамики, устойчивые к артефактам движения тканей. При этом, согласно [5], при цветовой визуализации кровотока удастся зафиксировать движение крови вокруг или через сгусток даже в самой маленькой вене.

Для создания цифровых объемных изображений южнокорейской фирмой Medison Co Ltd. разработан ультразвуковой 3D-сканер VOLUSON 530D (SA-530D) [6]. Как и другой прибор той же фирмы SA-8800, он имеет полностью цифровое диаграммообразование с аподизацией ультразвукового луча на прием и на передачу. Частота дискретизации в каждом из 128 приемных каналов составляет 27,5 МГц. Для непрерывной динамической фокусировки луча используется специальная 128-разрядная шина быстроедействием 160 Мбит/с. Отличительной особенностью VOLUSON 530D является возможность одновременного подключения до четырех зондов, позволяющих использовать различные технологии трехмерного просмотра. Сами датчики представляют собой линейные, искривленные либо кольцевидные решетки излучателей.

Дальнейшее повышение частоты дискретизации АЦП, укорочение длительности зондирующего импульса в ультразвуковых системах неизбежно будет сопровождаться ростом их разрешающей способности по глубине зондирования. В настоящее время, при частоте дискретизации $f_d = 40$ МГц в приборе LOGIC 700 MR фирмы General Electric [1] она уже составила 70 мкм. В перспективе нетрудно предсказать возможность ее дальнейшего повышения при переходе к $f_d \leq 500$ МГц (соответствующие высокоразрядные АЦП уже имеются) до клеточного уровня (7–10 мкм и менее).

Такого рода показатели разрешения открывают перспективы для реализации ультразвукового микроскопа, работающего без разрушения клеток и необходимости препарации живых объектов. Если для исследования крупных живых организмов до решения проблемы энергетических потерь такого рода микроскопы представляются довольно фан-

тастичными, то при наблюдениях за биологическими культурами, штаммами микроорганизмов они могут быть вполне реализуемы. При этом еще одно немаловажное преимущество систем с ЦАР проявляется в возможности реализации процедур сверхрелеевого разрешения по угловым координатам, доплеровской частоте и времени задержки. Взаимный пересчет результатов "сверхразрешения" в оценки других параметров [7] снимает жесткие ограничения на порядок разрешающей способности по угловым координатам. Достаточно предварительно различить сигналы по времени задержки либо доплеровской частоте, чтобы полностью восстановить их направления прихода. Данное обстоятельство весьма существенно, поскольку ожидать возможности реализации углового разрешения в единицы микрон только лишь за счет пеленгационных процедур "сверхразрешения" не приходится.

Литература

1. GE Introduces Breakthrough Ultrasound Technology; LOGIQ 700 Expert Series Offers Potential to Better Diagnose Stroke Risks: Introduction Accelerated by Six Sigma Quality. — News releases from GE Medical Systems. — General Electric Company. — April 29, 1999. (<http://www.ge.com/medical/Media/msurlex.htm>).
2. Bill Odom. Ultrasound Analog Electronics Primer. — Analog Dialogue, 1999, v.33, №5. — Published by Analog Devices, Inc. (<http://www.analog.com/publications/magazines/Dialogue/archives/33-05/ultrasound/>).
3. EUB-8000. The new Diagnostic Confidence. — Ecoscan Ultrasound AG, 1998. (<http://www.ecoscan.com/systems/>).
4. Jane Hedberg. ATL Ultrasound Awarded U.S. Patent for Tissue Harmonic Imaging. — Press releases of ATL Ultrasound, 1999, №110, March 8. (http://www.atl.com/news/110_pr_030899.html).
5. ATL begins customer Shipments of HDI® 5000 for General Imaging and Cardiology. Successful Worldwide Rollout Continues. — Press releases of ATL Ultrasound, 1997, №79, November 10. (http://www.atl.com/news/79_pr_111097.html).
6. Medison Shows Top Products At Medical Equipment Exhibition. — NewsWorld. — Korea, Feb., 1999.
7. Слюсар В.И. Методика пересчета результатов сверхразрешения в оценки других параметров сигналов. — Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника, 1997, т.40, №5.

Поступила 30 марта 1998 г.