

# Исследования в области интеллектуальных систем в Белградском университете. Проблемы и результаты

А. Йованович

Группа Интеллектуальных систем (ГИС) изначально задумывалась для того, чтобы мотивировать и привлечь к работе старшекурсников и аспирантов математической школы Белградского университета в более увлекательных и современных областях прикладной логики и искусственного интеллекта. Группа начала свою деятельность с совместной работы с Жарко Мияйлович в 1992 году. Многие наши студенты разделяли наш энтузиазм, и в результате были разработаны хорошие алгоритмические решения, основанные на синтаксическом процессе. Данный процесс включает в себя следующие процедуры доказательства (ПД): проверка корректности, ПД геометрических теорем, ПД модальной логики, основанные на интерпретации. Кроме того он включает процедуры устранения кванторов в алгебраически замкнутых полях и действительных замкнутых полях с приложениями к задачам оптимизации и в монадическом исчислении с приложениями к выводам в базах данных, ПД в интуиционистской логике, ПД в исчислении предпочтений Фон Райта и некоторые обобщенные модели машины Тьюринга.

Система

$$\begin{aligned} & \text{opt } F(x), \\ & \text{conds } (\mathbf{A}\mathbf{X} \leq \mathbf{B}), \end{aligned}$$

в которой  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{X}$  и  $F$  линейны, является задачей линейного программирования. Если  $\text{conds}$  или  $F$  являются полиномами, то система

имеет полиномиальную форму. Вместо оптимизируемой формы  $F$  может использоваться набор критериев (мультикритериальная задача оптимизации). В другом случае полиномиальные задачи оптимизации могут быть хорошо сформулированы в терминах теории действительных замкнутых полей, и мы сможем применить методы этой теории для решения оптимизационной задачи. Более детально это описано в [10].

Информационная потребность в (сложной) информационной системе (ИС) может быть хорошо смоделирована как предложение  $\mathbf{p}$ , выполнение которого исследуется в модели  $\mathbf{M}$ , соответствующей ИС. Таким образом, информационная потребность описывается следующей формулой

$$\mathbf{M} \models \mathbf{p}.$$

Если  $\mathbf{M}$  велико, а  $\mathbf{p}$  имеет особую структуру, тогда решение задачи с использованием механизма поиска в базах данных может занять некоторое время. Позволив ему работать таким образом, мы одновременно можем запустить и синтаксический метод, который бы имел схожую цель – доказательство утверждения о том, что  $\mathbf{p}$  использует некоторые выводы. Таким образом, параллельно процессу вывода

$$\mathbf{M} \models \mathbf{p},$$

мы запускаем процесс вывода

$$\mathbf{T} \vdash \mathbf{p}, \quad \mathbf{T} \Vdash \mathbf{p},$$

где  $\mathbf{T}$  – некоторый подходящий контекст, который допускает устранение кванторов (например, монадическое исчисление). На таком пути мы могли бы содействовать информационной службе ИС, используя методы решения и механизмы доказательства. Наконец отметим, что полезным может быть и некоторая гибридная смесь. Более детальное изложение этого подхода можно найти в [4] и [9].

Эта работа обосновывает также применимость математической логики в основном к процессу автоматизации доказательства и принятия решений. Моделирование синтаксиса связей в молекулярной

биологии, которое включало классификацию образцов синтаксиса, распознавание и принятие решений, может одновременно исследоваться со студентами старших групп отделения молекулярной биологии нашего университета. За работу такого рода наши студенты неоднократно были удостоены университетской награды. Кроме синтаксической обработки, работа ГИС связана с цифровой обработкой изображений и сигналов. Все описанные далее методы представлены во всех деталях на нашем сайте [www.gisss.com](http://www.gisss.com) либо в виде иллюстраций, либо как демонстрационные версии программ.

## 1. Цифровая обработка изображений

Начало нашей работы в области обработки изображений было связано с реализацией необходимых компонент интеллектуального телескопа, анализом звездного спектра и со столкновением кометы Шумахера–Леви с Юпитером.

В то время как в Институте биологических исследований Синиша Санковича в Белграде производился поиск доступного оборудования для нейрофизиологических экспериментов, в стремлении достичь удовлетворительных результатов в исследовании умственных процессов, связанных с восприятием музыки, я случайно создал фото-электронный микроскоп, который соединил в себе хороший институтский микроскоп с астрономической цифровой камерой и компьютером. До того, как быть растиражированной где бы то ни было, эта система использовалась для того, чтобы облегчить жизнь аспирантам, занимающимся молекулярной биологией, которые были вовлечены в процесс подсчета «точек» в протекающей полимеразно-цепной реакции РНК молекул в ядрах нервных клеток, сотен точек/ядер и так для многих клеток. Я предложил автоматизировать подсчет при помощи цифровой камеры и специального программного обеспечения. Случайно в начале работы, ассистентка исследований, ведающая тамашним микроскопом, должно быть заметила мой микроскоп и, ведомая интуицией, отослала меня в дальний конец коридора – генетическую лабораторию, где я нашел друга – доктора Вуйшевича, который не раздумывая допустил меня до своего микро-

скопа. Тотчас же я почувствовал, что должен во что бы то ни стало принять участие в том, что он делает. Он исследовал хромосомы и однажды заметил что то, что он делал было «слишком субъективно и не оставляло никакого пространства для таких точных вещей, как математика или для всякого рода автоматизации и квантификации». Это был настоящий вызов, который был принят, и в последующие восемь лет были получены реальные результаты.

Система дает возможность пользователю видеть лучше и больше, измерять объекты, что было невозможно вплоть до настоящего момента, выполнять новые типы операций с изображением, что стало осуществимо, благодаря обработке изображения на компьютере. Улучшенное хранение, поиск, сравнение, также как и доступ через интернет легко обеспечиваются такими системами. Они широко используются в медицинской практике, несмотря на высокую цену, что свидетельствует о том, что результаты, достигнутые в области этой технологии, необходимы для медицины. Вместе с высокотехнологическими оптическими системами, большую роль здесь играет высокотехнологичная цифровая светочувствительная матрица и программное обеспечение для анализа и обработки изображений. Мы были среди первых в мире, кто начал исследование с помощью таких систем, и мы, безусловно, среди пионеров цифрового фото-микроскопа. Методы обработки и анализа изображения, которые составляют основу нашего программного обеспечения, по всем параметрам сравнимы с лучшими мировыми продуктами. Один из недостатков обычной коммерческой системы в том, что она является полностью или частично закрытой (по причине коммерческой безопасности), что мешает пользователю расширить аналитическую методологию на большую область и обмениваться результатами, полученными с помощью этой системы.

Все реализованные алгоритмы разбиты на пять программных пакетов, четыре из которых завершены, а один пока находится в стадии разработки. Программы работают под операционными системами MS Windows. Все программы хорошо визуализированы и после короткого обучающего курса просты в обращении. Программы включают следующие инструменты для работы с изображениями:

- стандартная обработка (контраст, освещенность, вращения, резкость, усреднение и т.д.);
- пять типов выделения (параллельно границам изображения, наклонный параллелограмм, искривленная область, регулируемая устанавливаемыми вручную геодезиями кривых, искривление путем корректировки границ предыдущей области, выделение заданной области), обеспечивающие достаточно точное извлечение нужных частей изображения;
- фотометрическое разбиение выбранных объектов, функция схожести фотометрических представлений (для генов и хромосом);
- трехмерная фотоморфология с трехмерной графикой, измерительные инструменты и индикаторы; точное измерение освещенности в определенных областях изображения;
- определение и подсчет зернистости области выбранного размера;
- морфометрика поверхности;
- синтез цветных изображений (монохромные изображения, полученные при различных длинах волн, комбинируются с использованием функциональных цветов, с полным контролем центральных и весовых отношений);
- автоматическое разделение объектов, нормализация и исправление в случае необходимости, сортировка по длине;
- различные типы спектроскопии изображения;
- улучшение на два порядка оптического увеличения микроскопа;

Наша система используется для отслеживания слаборазличимых или невидимых изменений в хромосомах и ядрах, для определения генетического происхождения хромосом с патологиями, для оценки течения полимеразно-цепной реакции РНК в ядрах нейронов, точного распределения генных сигналов с непосредственным использованием этих процедур для похожих приложений в технологиях молекулярной биологии.

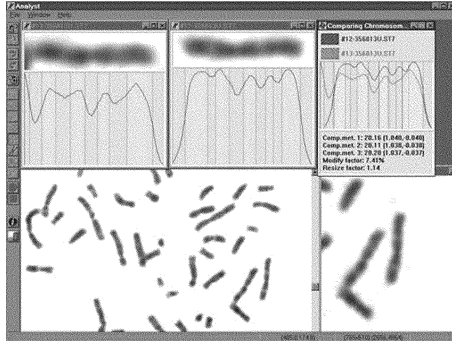


Рис. 1. Трисомия, подтвержденная хромосомной фотометрией.

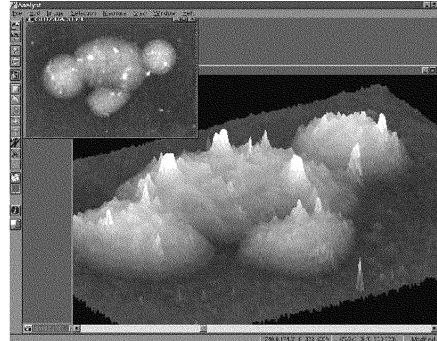


Рис. 2. Трисомия, подтвержденная ядерной фотоморфологией.

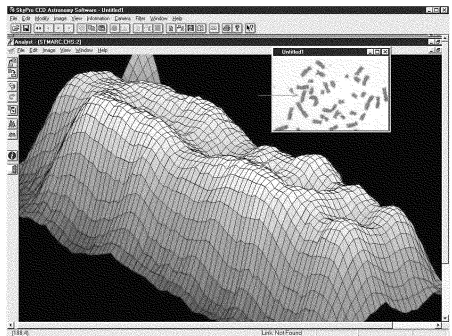


Рис. 3. Дефектная хромосома-маркер, фотоморфологически увеличенная в 100 000 раз.

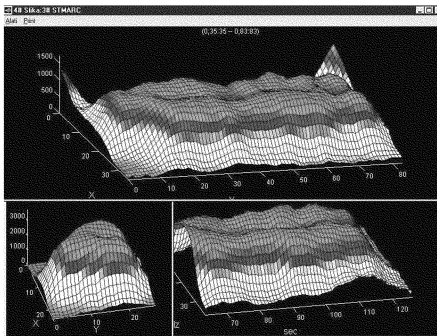


Рис. 4. Хромосома-маркер: определение генетической принадлежности посредством фотоморфологии.

Благодаря вышеперечисленным возможностям программного обеспечения и самого цифрового фото-микроскопа появилась возможность расширить спектр приложений на микроскопию, особенно в цитогенетике (исследование изменений в хромосомах и ядрах, определение генных сигналов, полимеразно-цепные реакции, флуоресцентные полимеразно-цепные реакции (ФПЦР)), гематологии, патологии, онкологии, предродовой диагностике. Дополнительные возможности архивирования, мониторинга развития и лечения заболевания, более объективного сравнения результатов анализа, равно как и расширенные возможности диагностики – заочное обследо-



Рис. 5. Митоз дефектной пары хромосом.

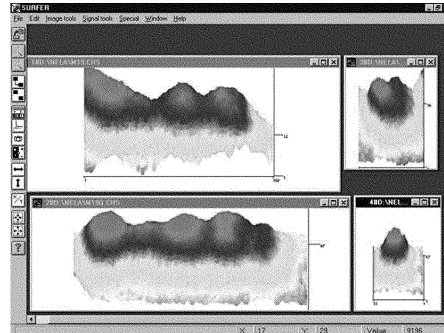


Рис. 6. Перенос части хромосомы.

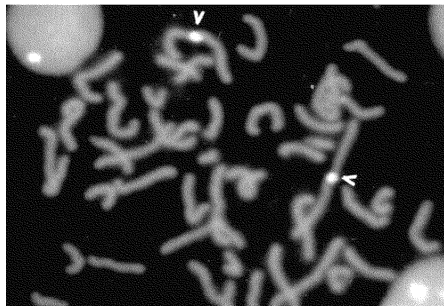


Рис. 7. ФПЦР-сигналы на хромосомах.

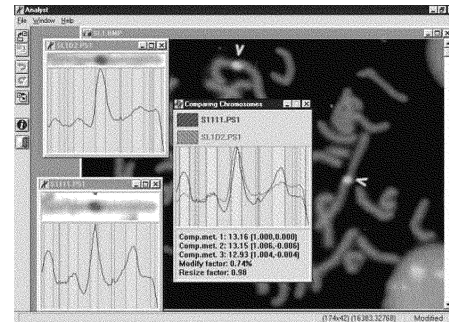


Рис. 8. Точное выделение сигнала на хромосоме с фотометрической идентификацией хромосомы.

ние через интернет – трудно переоценить.

При делении клетки хромосомы испытывают метаморфозы, начиная с раскручивания ДНК и кончая парами склеивающихся форм. Они формируют наборы образцов, сгруппированных по характеристическому принципу, используемые для детальных исследований и классификации. Пообщавшись с экспертами, отстаивающими неприменимость какого-либо математического аппарата для хромосомного анализа, я заключил, что методы, которыми генетики классифицируют хромосомы и выявляют структурные изменения, достаточно формализуемы, и поэтому неизбежно математизируемы. Функция плотности распределения хромосом служит тому хорошим приме-

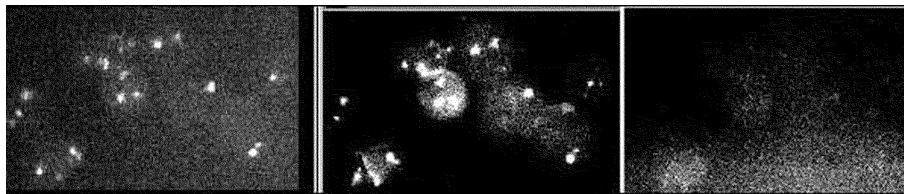


Рис. 9. ФПЦР-фотоснимки группы ядер в трех длинах волн.

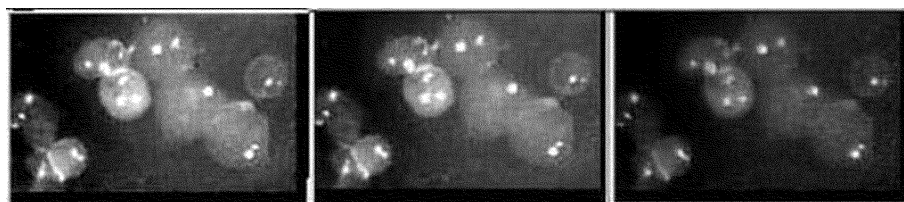


Рис. 10. ФПЦР-композиции в цвете: соединение предыдущих монохроматических ФПЦР-изображений в одном цветном изображении позволяет выявить структурные отношения, не видимые в отдельных монохроматических изображениях (например, трисомы в центральных ядрах).

ром, а множество распределений экстремумов ее значений должно быть относительным инвариантом. На множестве инвариантов хромосомы мы ввели некоторые семейства близости, которые должны отражать нужные аспекты, и таким образом работаем с малыми величинами при сравнении хромосом одного типа и различении хромосом разных классов [2, 8]. Функции похожести выделяют тонкие различия на моделях хромосом. Такой подход позволяет группировать хромосомы по похожести, классифицировать их, точно описывать дефекты и патологии, проявившиеся на цитогенетическом уровне, отслеживать генетическое происхождение неправильных хромосом (не существующих в нормальных клетках), точное указание расположения генов на хромосомах. В процессе подготовки к микроскопическим исследованиям формы хромосом не поддаются контролю: они появляются прямыми, слегка согнутыми или сильно согнутыми. Чтобы применить вышеуказанные предположения, необходимо предварительно нормализовать хромосомы («выпрямить»). Сначала мы использовали ручную процедуру (в программе анализа). За последние шесть лет мы разработали хорошие алгоритмы автоматиче-



ского отбора и нормализации хромосом. Мы привязываем некоторую криволинейную систему координат с соответствующим векторным полем к исходной хромосоме, а затем приводим ее (автоматически) к нормированной хромосомной системе координат. Эта система используется потом при создании нормированной хромосомы, которая должна использоваться как исходная, как если бы она была прямой с самого начала. Эти алгоритмы представлены в программе, демо-версию которой можно найти на нашем веб-сайте.

## 2. Цифровая обработка сигнала

Наши исследования по цифровой обработке сигнала начались в свое время с желания изучить электрофизиологию ментальных образов, порождаемых усилием воли. Впоследствии мы сотрудничали со всеми ЭЭГ лабораториями в регионе. Изучая возможность применения имеющихся в распоряжении средств ЭЭГ, плохо подходящих для конечной цели, я обнаружил, что технология 70-х – 80-х годов была слишком грубой и примитивной. Во время обсуждения данной проблемы с ведущими специалистами в нейрофизиологии один знаменитый профессор, объясняя мне, как далеки от реальности были мои стремления (уверен, он подозревал во мне своего будущего пациента), воскликнул: «... это научная фантастика, 21 век!» Ни на минуту не задумываясь, я ответил: «Но осталось-то всего 11 лет!» В 1992 было создано первое потенциально полезное устройство: к ЭЭГ системе Института биологических исследований, которая использовалась для записи сигнала от имплантата в мозгу крысы, был добавлен компьютерный интерфейс и аналого-цифровой преобразователь, разработанный нашим институтом электроники. К сожалению, он был слишком медленным, да и работал не всегда хорошо. С помощью такой грубовато компьютеризированной ЭЭГ мы проделали первые интересные эксперименты: подвергали крысу воздействию звукового сигнала частотой 212 Гц, который распознавался позже в спектре записанного сигнала мозга. Изменение внешнего звукового сигнала от высоких до низких частот привело к соответствующему изменению связанной с ним линии спектра. Максимальная частота

та дискретизации той системы составляла 1кГц в двух каналах. За следующие полгода мы создали еще два программных сигнальных процессора, третий был оснащен спектро스코пом, улучшенной графикой и методами обработки, написанными в Matlab. Все эти достижения (на протяжении восьми лет) привели к созданию системы SMARTA – системы мониторинга, хранения и интерактивной обработки биомедицинских сигналов в реальном времени (Signal Monitoring, Archiving, and Real-Time Analysis). Состоит она из следующих компонентов: датчиков со схемами подключения, интерфейсов, устройств преобразования аналогового сигнала в цифровой, компьютера и программного обеспечения, которое обеспечивает функционирование всей системы. Варианты таких систем широко используются в медицине. Число предложений таких систем и количество способов их применения постоянно растет во всем мире, благодаря развитию технологии цифровой обработки сигнала, и благодаря программному обеспечению, в котором реализован мощный математический аппарат, который позволяет анализировать и понимать то, что ранее было не доступно. Все это непосредственно влияет на расширение медицинских знаний и медицинских стандартов.

Результатом наших усилий стало создание высокоинтегрированной, высокопроизводительной системы SMARTA, предназначенной в первую очередь для медицинского диагностирования (компьютеризированная ЭЭГ, сверхбыстрая неврологическая система, анализатор сердечного давления, система для аускультации (прослушивания), интерактивный спектроскоп, кардио-токограф). Возможности наших систем вполне соответствуют возможностям подобных систем всемирно известных производителей медицинского оборудования. Наши клинические/исследовательские системы включают:

- Объединение сетей клиники, в которых происходит обработка цифрового сигнала.
- ЭЭГ, оснащенные компьютерами.
- Локальная неврологическая сеть, полученная путем объединения всех ЭЭГ и неврологических тестирующих и контролируемых устройств в единую сеть в пределах клиники.

- Локальная кардиологическая сеть, полученная путем объединения всех устройств кардиологического наблюдения с центральным компьютером и с локальной компьютерной сетью клиники. Это позволяет проводить распределенную обработку всех сигналов для того, чтобы обеспечить хранение, отображение и анализ данных.
- Оснащенный компьютерами кардиотокограф (КТГ), используемый в акушерско-гинекологических клиниках: все устройства КТГ соединены с центральным компьютером, что обеспечивает локальный и местный контроль, хранение и анализ сигнала.

В состав системы в простой конфигурации входят следующие элементы:

- несколько устройств ввода сигнала с аналоговым (возможно и цифровым) выходом,
- интерфейсы,
- аналого-цифровой преобразователь,
- компьютер,
- программное обеспечение для поддержки необходимых функций.

Эта конфигурация может быть расширена до сетевых приложений, в которых функции системы распределяются в компьютерной сети.

Более сложная конфигурация может содержать встроенные сигнальные процессоры, соединенные с аналого-цифровыми преобразователями простой структуры; программное обеспечение также разделено на несколько уровней. В этом случае при разделенной обработке, применяется многоканальный вход (мы использовали 256 каналов), при переходе к большим объемам вычислений, для анализа данных используются многопроцессорные вычислительные системы. Также используется 3-х мерная графика на необходимом числе мониторов и интерактивная обработка данных (используя методы определения и прогнозирования значимых состояний в режиме реального времени).

Такое расширение структуры системы обеспечивает достаточную мощность вычислительной системы и позволяет работать с произвольным числом входных каналов, а также контролировать, хранить, анализировать в реальном времени происходящие процессы. Самой сложной частью таких систем является программное обеспечение, которое позволяет распределять различные приложения на свободные процессоры внутри сети. Системы с такого рода конфигурацией только появляются и их пока мало на мировом рынке медицинского оборудования. В ближайшем будущем мы, вероятно, станем свидетелями широкого распространения этой идеи во всех областях и в медицине, в частности.

В настоящий момент мы разработали пять поколений систем цифровой обработки сигналов. Их развитие идет в ногу с прогрессом в области компьютерных технологий в последние годы.

Значимость спектроскопии сигнала для анализа ЭКГ и кровяного давления, а также сигналов ЭЭГ является общепризнанной, что подтверждено испытаниями Американского Медицинского Общества в 1999 году.

Наше программное обеспечение содержит множество встроенных инструментов, разработанных нами за много лет. Они позволяют пользователю настраивать систему в соответствии с его требованиями, а также изменять любые параметры во всех имеющихся алгоритмах. Также имеется полная интерактивная реализация всех процедур в виде 3-х мерной графики прекрасного качества. Она позволяет лучше представить детали происходящего и значительно облегчает работу.

Система также содержит сложный калькулятор, производящий операции над сигналами, их производными, спектрами, вейвлетами, равно как и операции с трехмерными структурами. Любые сигналы могут быть сохранены или перенесены для обработки в другое программное обеспечение или произвольный источник, их можно распечатать или послать по сети. Из всех интересных приложений, представленных на нашем веб-сайте <http://www.gisss.com>, я хотел бы коротко рассказать о «кардио»-приложениях.

На рис. 11 и 12 представлены сигналы ЭКГ и кровяного давления двух участников эксперимента, их спектр Фурье и трехмерный

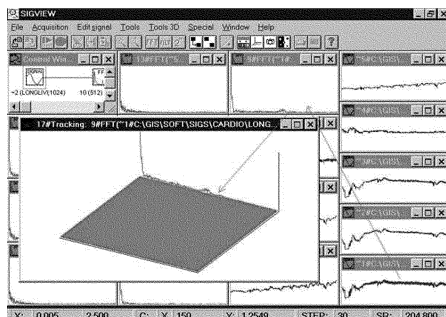


Рис. 11.

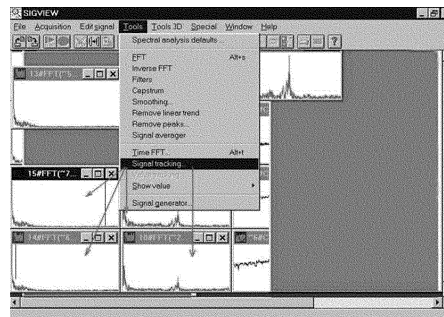


Рис. 12.

Спектр Фурье и трехмерный спектр сигналов в кардиологических экспериментах.

спектр. Можно заметить, что в одном спектре выделяется прямая в середине диапазона, в то время как на других ее нет. При последовательных вычислениях спектра во время девятидесяти минутного эксперимента мы наблюдаем характеристическую спектральную линию (респираторную линию), представленную в кровяном давлении одного из участников эксперимента, медленно осциллирующую по интенсивности и частоте (рис. 13 и левая половина рис. 14) около  $2 \cdot 10^{-3}$  Гц. Однако эта кривая не видна на спектре другого участника. На рис. 14 мы видим представление спектра всего девятидесяти минутного эксперимента: левая колонка содержит спектр сигналов верхнего и нижнего кровяного давления и ЭКГ участника с расположением спектра в середине диапазона. Вторая колонка содержит те же параметры сигналов второго участника. Время изменяется слева направо, частота снизу вверх, интенсивность кодируется цветом от темного к светлому.

Конец эксперимента совпадает с моментом смерти правого участника, в то время как левый участник продолжает жить. Эксперимент проводился на крысах с кровотечением, потерявших по  $1/3$  кровяного объема каждая, после чего левая крыса получила инъекцию вазопрессина. Отсюда можно заключить, что наличие/отсутствие определенной структуры спектра указывает на появление какого-либо кризиса, раннее выявление которого могло бы представлять интерес для человечества.

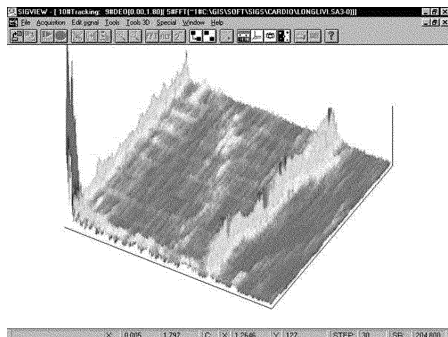


Рис. 13. Трехмерный спектр с явно выраженной респираторной линией, осциллирующей около общей частоты с очень медленным ритмом  $- 2,5 \cdot 10^{-3}$  Гц.

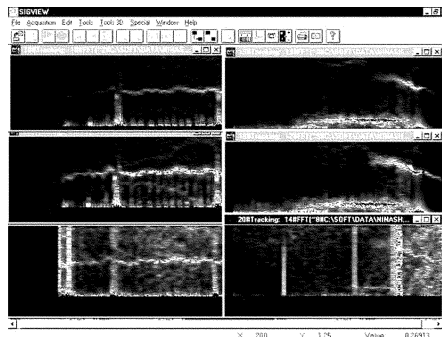


Рис. 14. Слева: спектр нормального участника эксперимента; справа: спектр умирающего участника эксперимента. По горизонтали: время; по вертикали: частота; интенсивность обозначена цветом.

### 3. Маленький музыкальный опус (Eine Kleine Musikalisches Opfer)

Наука ЭЭГ заключается в фильтрации всех шумов выше частоты 30–40 Гц. При этом утверждается, что сигналы ЭЭГ содержат частоты в диапазоне 0–30 Гц, и все сигналы вне этого диапазона должны быть приписаны мышечной деятельности и «артефактам». Очевидно, что отфильтрованные сигналы являются более простыми, а, следовательно, и более удобными для выявления и классификации нейрофизиологических патологий. Я пытался обнаружить музыку в сигналах мозга, и обнаружил, что только малая ее часть располагается ниже отметки в 32 Гц. Следовательно, не имеет значения то, насколько хорош отфильтрованный сигнал, мы знаем, что после такой фильтрации может исчезнуть вся музыка сигнала. К счастью, старые ЭЭГ содержали переключатели для фильтров, что позволило нам их деактивировать при проведении экспериментов в 1993–1994 гг. Естественно, мы сразу же обнаружили все виды шумов в записанном сигнале. Намного хуже оказалось то, что музыкальная часть мозговых сигналов оказалась не менее чем на два порядка слабее,

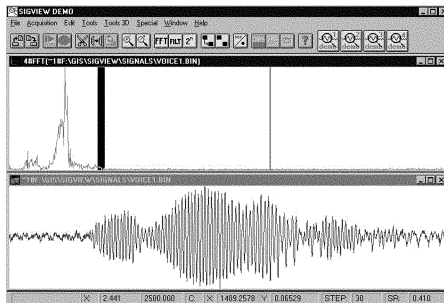


Рис. 15. Голосовая запись.

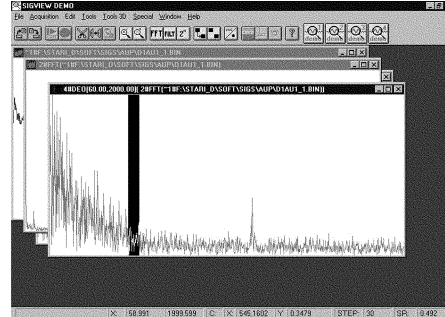


Рис. 16. Внутренний звук D2. Отмечена полоса 500–545 Гц.

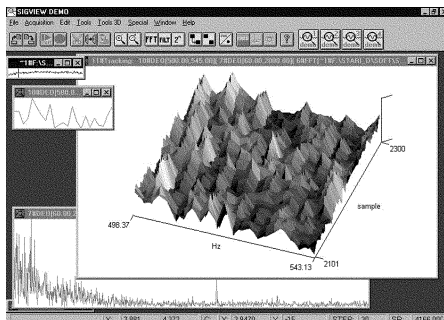


Рис. 17. Внутренний звук D2. 3-мерный спектр в полосе 500–545 Гц.

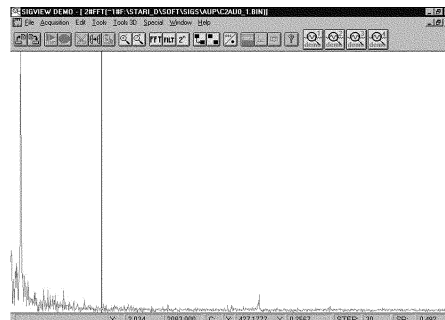


Рис. 18. Канал 0 – внутренний C2. Отмечена частота 524 Гц.

чем энергетическая часть. Еще хуже то, что все шумы резонировали, практически не оставляя шанса на обнаружение и запись музыки мозга. Если бы наша цель заключалась только в этом, мы бы потеряли надежду уже в начале исследований. Но помимо временных целей подобного рода, наше основное устремление было более тонким: идентифицировать внутреннюю музыку.

Внутренняя музыка – это музыка нашей души. Когда мы слышим музыку во сне или представляем ее во всей полноте – это внутренняя музыка. Когда мы поем или насвистываем что-то вслух – мы сначала генерируем внутренний звук, а потом передаем его периферическим средствам воспроизведения для генерации внешнего звука. Са-

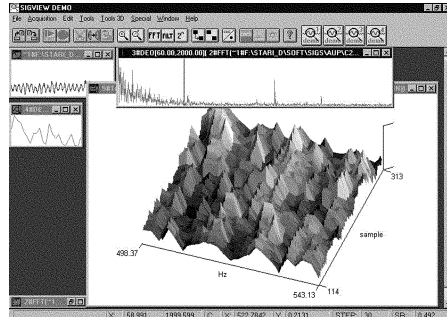


Рис. 19. Канал 0 – внутренний С2, полоса 500–545 Гц.

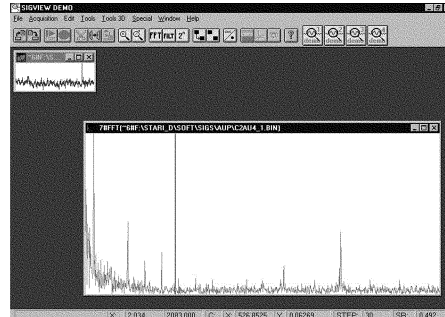


Рис. 20. Канал 4.

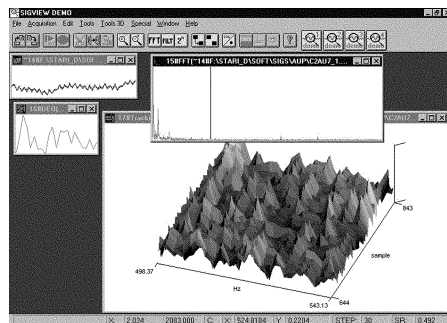


Рис. 21. Канал 7 – внутренний С2. 3-мерный спектр, 500–545 Гц.

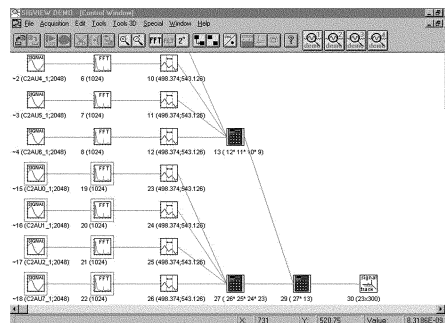


Рис. 22. Внутренний С2. Используемые компоненты системы.

мой сложной воспринимаемой музыкой является последовательность линейных комбинаций отдельных звуков (гармоний), каждая из которых есть линейная комбинация базиса Фурье (гармоник). Следовательно, идентификация внутренней музыки сводится к идентификации ее атомов – отдельных внутренних звуков. Внутренние звуки чрезвычайно слабы и трудно распознаваемы, они обладают весьма любопытными свойствами:

- их можно легко породить усилием воли;
- будучи внутренними, эти звуки не сопровождаются всякого рода резонансами и артефактами;
- они передаются на большие участки мозга, и, следовательно, их легче выявить и распознать;



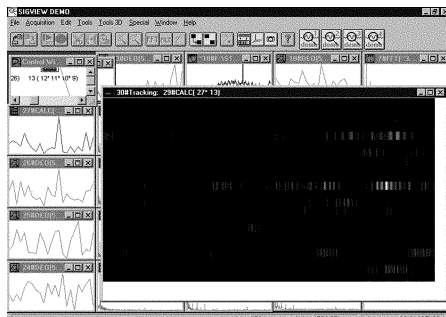


Рис. 23. Внутренний С2. Покоординатное произведение 3-мерных спектров, все каналы 500–545 Гц. Видно отсутствие заметных деталей – только один небольшой импульс.

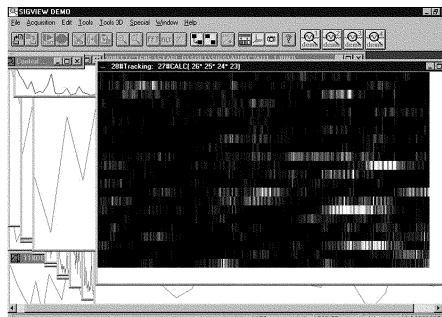


Рис. 24. Внутренний С2. Покоординатное произведение 3-мерных спектров входных каналов с фронтальным и верхнему фронтальному электродам. Заметна линия С2 наряду с другими деталями.

- они являются атомами музыки: возможность записи отдельных звуков расширяется тем самым до возможности записи более сложных мелодий мозга;
- музыкальная телепатия;
- возможность создания нового класса компьютерных интерфейсов с использованием сигналов мозга [5].

Вышеуказанный список предъявляет к необходимой нам системе цифровой обработки сигнала следующие требования: многоканальность, высокое разрешение, многомерная спектрография, и все в реальном времени. Наше 5-е поколение систем цифровой обработки сигнала вполне удовлетворяет этим требованиям. Это поколение, основанное на передовых технологиях, достигло распределенных вычислений, параллельной многоканальной обработки, возможностей высокоскоростного построения трехмерных изображений и спектров высокого разрешения.

Первые положительные результаты были получены нами в совместной работе с музыковедом Катариной Томашевич (Музыковедческий институт Сербской Академии науки и искусства) еще в начале 1994 года, когда мы начали эксперименты с крысами. Обнаружив

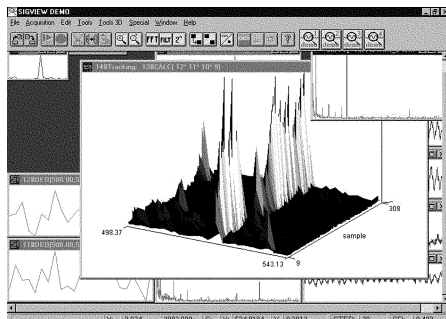


Рис. 25. Внутренний С2. Покоординатное произведение 3-мерных спектров, 500–545 Гц полосу для бокового и верхнего бокового электродов. Видно хорошо заметный С2 тон.

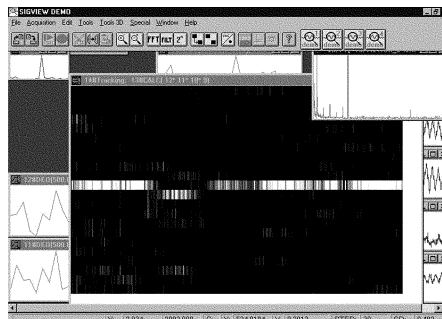


Рис. 26. Тот же, что на рис. 25 композитный 3-мерный спектр. Вид сверху, похожий на музыкальную разметку.

громадное количество артефактов в записи звуков, воспроизводимых внешними инструментами, я предложил лаборантке сгенерировать какие-либо внутренние звуки, один за другим, после внешней калибровки, завершающейся периодом полной тишины. После тысяч часов анализа с нашим примитивным на тот момент программным обеспечением я обнаружил в ее сигналах то, что только представлялось в уме, но не воспроизводилось вслух. После этого мы повторяли подобные эксперименты с переменным успехом.

Вот один из примеров. Сначала проводилась внутренняя калибровка: в течение нескольких секунд звук, который необходимо было воспроизвести внутренне, проигрывался электрическим органом. После того, как орган затихал, участник эксперимента концентрировался на услышанном звуке, и мысленно воспроизводил его. Эксперименты по записи проводились примерно каждые полчаса, затем участник эксперимента заменялся. У некоторых людей возникали трудности, другие великолепно справлялись.

Попробуем коротко описать эту работу. Рис. 15 отражает записанный голос с незначительным сопровождающим спектром, темная полоса выделяет часть спектра от 500 до 545 Гц. Рис. 16 – спектр внутреннего звука D2 (полоса выделяет диапазон 500–545 Гц). Его

трехмерное изображение (сегмент спектра от 500 до 545 Гц) не показывает ничего интересного. Канал 0 (из восьми) в записи внутреннего С2, с отмеченной частотой 524 Гц показан на рис. 18.

В ходе этих исследований были сделаны исторические записи с успешным выделением внутренних звуков после исследования тысяч и тысяч спектров мозгового сигнала (с вычислением миллиардов коэффициентов Фурье). Это послужило прекрасным доказательством возможности генерации ментальных образов. Некоторые приложения этих идей вполне ясны. Дети с отсутствием музыкального слуха, увидев, какие интервалы они не могут различить, получили бы шанс научиться тому, каким образом увидеть / услышать / спеть нужные звуки правильно.

### Список литературы

- [1] <http://www.gisss.com>.
- [2] Jovanović A. Matematika u Biologiji. Beograd, Matematički fakultet, 1997.
- [3] Jovanović A. (editor). GIS (CD). 1997.
- [4] Jovanović A., Mijajlović Ž. Logic and Databases // Proc. of the Sixth Int. Symposium on Computer at University. Dubrovnik, 1984.
- [5] Йованович А. Компьютерный интерфейс с использованием электронных сигналов мозга // Интеллектуальные системы. Т. 3. Вып. 1–2. М., 1998.
- [6] Jovanović A. Chromosome Modelling in CCD Microscopy // Proc. of the International Workshop «Tools for Mathematical Modelling», Skt. Petersburg 1997. СПб.: Тех. университет, 1998.
- [7] Jovanović A., Novak A. Recent Advances in Image Analysis of Chromosomes Subjected to HG-Banding and In Situ Hybridization (FISH) // Proc. of the 2nd Int. conf. on Bioelectromagnetism. Melbourne, 1998.
- [8] Malkov S., Vujošević M., Jovanović A. One method for chromosome analysis and comparison // Proc. of the conference «Mathematics and other sciences», Krit 1995. Greek Math. Society, 1996.

- [9] Мияйлович Ж. Монадическое исчисление и проблема разрешимости // Интеллектуальные системы. Т. 3. Вып. 1–2. М., 1998.
- [10] Mijajlović Ž., Jovanović A. Automatic theorem proving in field theory using quantifier elimination. Filomat, 1995.
- [11] Obradović G., Malkov S., Jovanović A. One application of FFT algorithm in image analysis // Scientific review. 21–22. 1996. (Proc. of Mitrinovic Memorial Conf. Nis, 1996).