

ЛАБОРАТОРИЯ № 7

Лаборатория обработки биоэлектрической информации

Заведующий лабораторией – д.б.н., профессор Титомир Леонид Иванович

Тел.: (095) 209-46-79; E-mail: titomir@iitp.ru

Ведущие ученые лаборатории:

д.т.н. Малиновский Л. Г.

к.т.н. Жожикашвили А. В.

д.т.н. Стефанюк В. Л.

с.н.с. Айду Э. А.-И.

к.т.н. Трунов В. Г.

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- исследование электрокардиографической системы отведений Франк-М с малым числом электродов, обеспечивающей получение новых электрофизиологических характеристик сердца и повышение точности диагностики без усложнения измерительной процедуры стандартной электрокардиографии;
- разработка, модельное и экспериментально-клиническое исследование оптимальных методов локализации патологических электрогенных зон в сердце для топической диагностики с использованием экономичных систем отведений;
- теоретическое и экспериментальное исследование возможности определения анатомического положения области миокарда желудочков сердца, генерирующей высокочастотные составляющие кардиоэлектрических сигналов, которые могут быть использованы для прогнозирования опасных аритмий сердца;
- развитие эффективных методов содержательно-образного представления характеристик электрофизиологического состояния и функций сердца при неинвазивных электрокардиографических измерениях у больных с ишемией и инфарктом;
- теоретическое и экспериментальное исследование метода образной визуализации характеристик предсердий на основе метода дипольной электрокардиотопографии (ДЭКАРТО), разработанного ранее для желудочков сердца;
- исследование на основе методологии научного анализа, применяемой в анализе биомедицинской информации, исторического развития общественных отношений (идеологических доктрин) и проектов адекватных общественных структур.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработаны эффективные методы выделения высокочастотных составляющих сигналов униполярных отведений модифицированной системы отведений Франк-М. Реализованы стандартные и разработаны новые алгоритмы фильтрации, усреднения и параметризации кардиоциклов для выявления низкоамплитудных поздних потенциалов желудочков сердца. Новые алгоритмы учитывают изменения униполярных кардиосигналов, обусловленные дыхательными движениями и гемодинамическими вариациями при длительной регистрации кардиосигналов. Эти методы базируются на оригинальном способе совмещения кривых пространственно-временного изменения вектора дипольного момента сердца для последовательных кардиоциклов, причем достигается наиболее эффективная фильтрация шумов, которые могли бы внести искажения в измеряемые высокочастотные составляющие сигналов. Применение этих алгоритмов к реальным электрокардиографическим измерениям приводит к по-

вышению точности оценки усредненного кардиоцикла и параметров поздних потенциалов желудочков.

Для усовершенствования метода локации аритмогенных зон в сердце продолжено изучение обобщенной модели в форме точечного генератора со сферически симметричным полем, потенциал которого обратно пропорционален квадрату расстояния от точки положения генератора. Положение средней точки аритмогенной области достаточно точно определяется положением такого фиктивного генератора, когда потенциал его поля с минимальной погрешностью аппроксимирует среднеквадратичные значения высокочастотных компонент сигналов униполярных отведений на поверхности тела. На основе этого подхода получены математические соотношения для определения координат центра аритмогенной области по значениям измеренной мощности высокочастотных компонент кардиосигналов (поздних потенциалов) и значениям координат измерительных электродов. Метод исследован на разработанной ранее упрощенной математической модели грудной клетки параллелепипедного типа, получены параметры коррекции основных математических соотношений. Показано, что при использовании экономичной системы отведений Франк-М, рекомендуемой для практической диагностики, предлагаемый метод может обеспечить локацию центра аритмогенной области в миокарде желудочков с погрешностью не больше 1 см.

Для дальнейшего развития метода локации областей миокарда с выраженными ишемическими изменениями, приводящими к значительным смещениям сегмента ST кардиосигналов, проведены исследования как на упрощенной параллелепипедной модели, так и на реалистической математической модели, учитывающей анатомическое строение сердца и грудной клетки и электрофизиологические процессы при возбуждении сердца (исследования проведены совместно с Институтом нормальной и патологической физиологии Словацкой академии наук и Институтом проблем измерения Словацкой академии наук).

При исследовании на реалистической математической модели грудной клетки было найдено, что первоначальный вариант метода определения срединной плоскости ишемического очага, учитывающий расстояние между генератором и точкой измерения и не учитывающий влияние ограниченности электропроводной среды, характеризуется недостаточной точностью при некоторых направлениях ишемического вектора сердца. В связи с этим метод был усовершенствован с использованием упрощенной модели тела как объемного проводника в форме параллелепипеда, благодаря чему повышена точность определения срединной плоскости ишемического очага при использовании экономичной системы отведений Франк-М.

Разработан метод выявления и содержательно-образной визуализации увеличения предсердий по сигналам системы отведений Франк-М. Метод ДЭКАРТО, разработанный ранее в применении только к желудочкам сердца, был дополнен алгоритмами анализа и наглядной визуализации предсердной части кардиоцикла.

Разработанный способ визуализации состояния предсердий позволяет изображать в картографической форме параметр размера предсердий, служащий для распознавания двустороннего увеличения предсердий или одностороннего их увеличения с указанием патологически измененного предсердия. Наибольшая надежность диагностики достигается при наличии поздних потенциалов предсердий, так как в этом случае одновременно применяются дэкартографические критерии увеличения предсердий и критерии локации электрогенной зоны высокочастотной составляющей электрокардиосигналов.

Метод ДЭКАРТО может служить универсальным средством для комплексного анализа сигналов ортогональных векторкардиографических отведений, обеспечивающего повышение точности диагностики, особенно при динамическом наблюдении за состоянием сердца, по сравнению с общепринятыми электрокардиографическими методиками.

Предложенные способы наглядного представления данных значительно повышают эффективность их интерпретации за счет сочетания количественных и эвристических подходов.

Результаты исследований были представлены в научных докладах на 31-м Международном конгрессе по электрокардиологии (Киото, Япония, 27 июня – 1 июля 2004 г.) и на 9-м Конгрессе Словацкого кардиологического общества с международным участием (Братислава, Словакия, 7-9 октября 2004 г.).

Профессор Л. И. Титомир участвовал в международном сотрудничестве по научно-организационным вопросам как член Совета Международного общества электрокардиологии и в научно-издательской деятельности как член редколлегии журнала "Функциональная диагностика", редакционный консультант журнала "Journal of Electrocardiology" (США) и член редакционного совета журнала "Bratislava Medical Journal" (Словацкая Республика).

На основе схемы познания модельно-конструктивного мышления и конкретизации научной рациональности, введенных на предыдущих этапах исследования, был сформулирован наиболее адекватный жизненным реалиям подход к общественным наукам (в первую очередь к идеологии) не как к естественным, а как к прикладным, в первую очередь к техническим наукам. В таком подходе к мышлению и идеологии, большая часть которой сформулирована в рамках религиозной и философской архаики, в явном виде выделяется проект общественного устройства, вводится познающий и конструирующий общественные отношения носеологический субъект.

Результаты исследования были представлены в научных докладах на 2-й Международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления РАСО 2004» (Москва, 4-6 октября 2004 г.) и на 4-й Всероссийской конференции «Построение человеческого (нравственного) общества» (Москва, 1-2 июня 2004 г.).

ГРАНТЫ:

- **Российский фонд фундаментальных исследований (№ 03-01-00147):** "Математическое моделирование очагов пространственно-временной нестабильности электрических процессов в миокарде и разработка методов предсказания аритмий сердца на основе информационных технологий".

- **Программа фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине»:** "Методы содержательно-образно представленности данных на основе информационных технологий для повышения точности неинвазивной электрокардиологической диагностики".

ПУБЛИКАЦИИ В 2004 г

Опубликованные статьи

1. Иванов Г.Г., Трегубов Б.А., Титомир Л.И., Кудашева И.А. Анализ показателей ЭКГ высокого разрешения зубца Р в униполярных прекардиальных отведениях Франка у больных с пароксизмальной формой мерцательной аритмии. *Функциональная диагностика*, 2004, № 3, стр. 33-41.

Институт проблем передачи информации РАН

2. Малиновский Л.Г. Диалектика национальных доктрин и перспективы развития России и человечества. В кн.: *Наука и ее методы накануне XXI столетия*. Под ред. В.И. Метлова. М.: РХТУ, 2004, стр. 213-229.

3. Малиновский Л.Г. Конкурентоспособность и бедность в России и их связь с системной организацией мировой и российской политики и экономики. *Национальная безопасность и геополитика России*, 2004, № 3-4, стр. 106-116.

4. Малиновский Л.Г. Конкретизация научной рациональности – ключевой элемент системной методологии. *2-я Международная конференция «Параллельные вычисления и задачи управления», Москва, 4-6 октября 2004 г., РАСО'2004*. М.: ИПУ РАН, 2004, стр. 1228-1243.

5. Малиновский Л.Г. Научная рациональность как идентификация знаний об организации и управлении в обществе. *4-я Всероссийская конференция «Построение человеческого (нравственного) общества», Москва, 1-2 июня 2004 г.* М.: МГУ, 2004, стр. 140-143.

6. Deutsch T, Gergely T., Trunov V. A Computer System for Interpreting Blood Glucose Data. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2004, vol. 76, pp. 41-51.

Статьи, принятые к публикации

1. Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Ощепкова Е.В., Лазарева Н.В., Айду Э.А.И., Трунов В.Г., Титомир Л.И. Новые подходы к диагностике гипертрофии левого желудочка методом дипольной электрокардиотопографии (ДЭКАРТО). *Функциональная диагностика*.

2. Трунов В.Г., Титомир Л.И., Айду Э.А.И., Сахнова Т.А., Блинова Е.В. Картографическое представление предсердной деполяризации на основе дипольной электрокардиотопографии (ДЭКАРТО) для диагностики увеличения предсердий. *Функциональная диагностика*.

Тезисы докладов

1. Blinova E.V., Sakhnova T.A., Sergakova L.M., Trunov V.G., Aidu E.A.I., Titomir L.I. Electrocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy in hypertensive patients. *J. Hypertension*, 2004, vol. 22, Suppl. 2, p. S308.

2. Titomir L.I., Trunov V. G., Aidu E.A.I., Sakhnova T.A., Blinova E.V. Pictorial representation of atrial depolarization on the basis of dipole electrocardiotopography (DECARTO) for diagnosis of atrial enlargement. In: *31-th Int. Congr. On Electrocardiology (Abstracts)*, 2004, p. 121.

3. Tysler M., Turzova M., Szathmary V., Aidu E.A.I., Trunov V.G., Titomir L.I. Model substantiation of a method to determine the lesion midplane indicating the position of acute ischemia in the heart ventricles. *Cardiology*, 2004, vol. 13, Suppl., p. 32S.

Группа искусственного интеллекта

НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- исследование поведения локально-организованных систем искусственного интеллекта в теории и в приложениях;
- разработка интеллектуальных компьютерных обучающих систем;
- развитие семиотических методов искусственного интеллекта;
- использование теории категорий для описания задач обучения и обработки знаний в области искусственного интеллекта;
- разработка интеллектуальных методов борьбы с вирусами и нежелательной информацией, поступающей по сети Интернет.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные результаты, полученные в группе, представлены в книге В. Л. Стефанюка "Локальная организация интеллектуальных систем: Модели и приложения", посвященной разработке и систематизации математических методов анализа и синтеза локально-организованных систем, возникающих в различных задачах искусственного интеллекта и их приложениях. Цель книги состоит в разработке теории и средств анализа дискретных, непрерывных, нечетких и программных локально-организованных систем, а также в создании на этой основе ряда новых математических моделей, иллюстрирующих развиваемые подходы.

Первая глава "Общие принципы локальной организации систем" содержит обзор основных подходов к математическому моделированию больших (или сложных) систем, помогающий уяснить место моделей с локальной организацией среди известных вариантов моделей систем, дано определение локально-организованных систем и формулируется методика их анализа.

Во второй главе "Методы исследования локальной организации в дискретных моделях" предполагается, что подсистемами служат стохастические или детерминированные конечные автоматы, имеющие конечное число возможных действий. При этом внутренние состояния автоматов и совершаемые ими действия могут изменяться в дискретные моменты времени под влиянием получаемых данной подсистемой эффектов, зависящих, в частности, от действий всех остальных подсистем.

В третьей главе "Локальная организация целесообразного поведения в непрерывных моделях" в качестве подсистем выступают автоматы с непрерывным множеством действий, взаимодействующие по некоторому детерминированному закону не в дискретной, а непрерывной шкале времени. В качестве основного приложения здесь рассматриваются проблемы устойчивости в коллективах мобильных радиостанций.

В главе "Локальный подход к решению фундаментальных задач искусственного интеллекта" делается попытка рассмотреть поиск адекватного представления задач, знаний, а также проблемы обучения, как работу некоторой локально-организованной системы.

В заключительной главе "Использование локальной организации при разработке прикладных программных и человеко-машинных систем" собраны приме-

ры, когда на основе локальной организации удалось построить пакет программ, решающий полезную для приложений задачу (или группу задач).

В ходе развития проекта создания компьютерных систем одновременно с созданием транзакционного анализа на когнитивных уровнях ведется работа по созданию универсального формального языка, необходимого для построения такой достаточно сложной системы искусственного интеллекта.

С этой целью был предложен алгебраический подход к описанию продукционных систем, опирающийся на теорию категорий. Определение теоретико-категорной продукции является результатом обобщения различных конкретных типов продукций, известных из литературы. Оно охватывает многие типы продукций и правил из искусственного интеллекта, математической логики и смежных областей.

Были получены новые результаты в разработке такого языка для описания работы со знаниями в человеко-машинных системах. Были показаны некоторые полезные свойства так называемых сетей продукций, представляющих собой рекурсивную альтернативу системам продукций в искусственном интеллекте и экспертных системах, в которых продукции обычно применяются в определенном смысле последовательно.

При создании алгебраической теории продукционных систем постоянно имелось в виду исследование алгоритмов автоматического формирования систем таких продукций. В предыдущих работах на эту тему было показано, как, используя определенную операцию обобщения, можно формировать новые продукции. В отчетном году был исследован вопрос о формировании подобными методами сети продукций.

Традиционно в работах в области компьютерных обучающих систем в качестве модели обучаемого используется совокупность его знаний. Как показала практика, ее явно недостаточно причем надежность такой модели весьма спорна. Поэтому было предложено рассмотреть интеллектуальную модель обучаемого, учитывающую его когнитивный уровень.

На основе оригинальной схемы когнитивных уровней, вовлекаемых в обучение, для области обучающих систем построена модель транзакций, возникающих в процессе обучения. Именно эта модель положена в основу разрабатываемого в группе проекта персональной обучающей системы, позволяющей вести детальный и динамический учет личностных свойств обучаемого, проявляющихся в ходе обучения. Такая система хорошо согласуется с организацией интеллектуального интерфейса, разработанного авторами проекта ранее.

Основную трудность при попытке использовать представление о когнитивных уровнях на практике составляет вопрос детерминации уровня учителя и ученика. Была начата работа по изучению проблемы детерминации когнитивных состояний.

Специальное внимание было уделено рассмотрению особенностей детерминации на уровне аналогий и обобщений. На этом уровне обучаемый, анализируя предлагаемые учителем примеры задач, осваивает не только решение этих конкретных задач, но и решение аналогичных, близких к ним задач, самостоятельно делая необходимые для этого обобщения. Одна из трудностей – указать методы оценки способности обучаемого к такому способу усвоения знаний.

По определению, на этом уровне возможны два подхода. Согласно первому, учащийся, научившись решать некоторую задачу, осваивает также близкие к ней задачи, отличающиеся в деталях. Это – обучение *с использованием аналогии*. Способность учащегося осваивать предмет таким способом можно определять по тому, насколько далеко отстоят задачи, которые он решает самостоятельно, от тех, решение которых было объяснено учителем. Второй подход

основан на концепции обобщения. Научившись решать несколько близких задач, отличающихся не особенно существенными деталями, обучающийся самостоятельно строит метод решения общей задачи, частным случаем которой являются все исходные. Здесь решающее значение имеет способность обучающегося к обобщению. На самом деле оба способа обучения – по аналогии и посредством обобщения – близки. Поэтому в когнитивной модели ученика оба эти способа рассматриваются совместно.

Показано, кроме того, что немаловажным является когнитивный уровень преподавателя и в особенности соотношение когнитивных уровней преподавателя и ученика в каждый момент времени. В связи с этим была глубоко исследована роль многошаговых трансакций, строящихся по аналогии с психологическими трансакциями.

При переходе от отдельных трансакций к их цепочкам был рассмотрен важный пример из практики сети Интернет – получение нежелательной для пользователя информации и вирусов по электронной почте. Здесь в качестве "учителя" выступает источник спама, а в качестве ученика – получатель электронной корреспонденции. Получатель писем полагает обычно, что спам может рассматриваться на когнитивном уровне аналогий и обобщений (уровень 3), т.е. как обучение на примерах, поэтому широкое распространение получили синтаксические фильтры, отбраковывающие нежелательные сообщения по ключевым словам или фразам, встречающимся в исходных примерах. Однако современные спамеры строят свои письма так, чтобы обратиться на более высокий уровень, тем самым избегая фильтрации с помощью автоматической системы, воспринимающей информацию на когнитивном уровне 3. Спамеры достигают этого теми же средствами, которые в литературе получили название эзоповых приемов или эзопова языка. В этом отношении описанная проблема оказывается весьма близкой исследованиям Л. В. Савинич, которая разработала классификацию эзоповых приемов.

В результате проведенных исследований был предложен оригинальный подход к борьбе со спамом, который кардинально отличается от применения пространственных синтаксических фильтров. Подход основан на предупредительных действиях и поэтому назван активной фильтрацией.

Вице-президент Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ) и постоянный член Европейского координационного совета по искусственному интеллекту В. Л. Стефанюк в 2004 году выступил организатором и членом программного комитета ряда международных конференций:

Объединенная международная конференция по программированию на основе знаний, г. Протвино, август 2004. Объединенная конференция по программированию на основе знаний (JCKBSE2004) (В. Л. Стефанюк – сопредседатель конференции, А. В. Жожикашвили – председатель национального оргкомитета).

Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2004), г. Тверь, октябрь 2004 (член программного комитета).

Международная конференция IEEE "Интеллектуальные системы" (AIS'04), г. Дивноморское, 3-10 сентября (член программного комитета).

IV российско-украинский научный семинар "Интеллектуальный анализ информации", г. Киев, 19-21 мая 2004 (член программного комитета).

Группа искусственного интеллекта активно вовлечена в практическую преподавательскую деятельность. В. Л. Стефанюк является профессором Российского университета дружбы народов, руководит научной работой студентов и двух

Институт проблем передачи информации РАН

аспирантов. В сентябре 2004 года В. Л. Стефанюк был приглашен на Вычислительный факультет Тартусского университета, Эстония, для чтения курса лекций для студентов этого университета.

ГРАНТЫ:

- **Программа Президиума Российской академии наук "Математическое моделирование и интеллектуальные системы"** (Госконтракт № 10002-251/П-16/097-096/310303-068): "Проблемы построения персональных обучающих систем на основе интеллектуальных человеко-машинных интерфейсов". Руководитель В. Л. Стефанюк.

- **Российский фонд фундаментальных исследований (№ 02-01-00955):** "Проблемы построения интеллектуальных человеко-машинных интерфейсов методами локально-организованных систем". Руководитель В. Л. Стефанюк.

ПУБЛИКАЦИИ В 2004 г.

Книги

1. Стефанюк В.Л. Локальная организация интеллектуальных систем. Модели и приложения. М.: Физматлит, 2004. 328 с.

2. Stefanuk V., Kaijiri K. (editors). Knowledge-Based Software Engineering. Proceedings of the Sixth Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering, V. 108 в серии "Frontiers in Artificial Intelligence and Applications", IOS Press, Amsterdam: 2004, 319 p.

Опубликованные статьи

1. Жожикашвили А.В., Стефанюк В. Л. Продукционные сети: развитие теории ТК-продукций // Вестник Российского университета дружбы народов; серия "Прикладная и компьютерная математика". 2004. Т. 2. № 1. С. 118-126.

2. Жожикашвили А.В., Стефанюк В.Л. Сети обобщенных продукций для представления знаний. Труды национальной конференции по искусственному интеллекту (КИИ-04), Т. 1, М.: Физматлит, 2004, С. 63-69

3. Стефанюк В. Л. Чему нас научили спаммеры? Научная сессия МИФИ-2004. Сборник научных трудов. Т. 3: "Интеллектуальные системы и технологии". Министерство образования Российской Федерации. М: Московский инженерно-физический институт, 2004, С. 33-35.

4. Стефанюк В.Л. Активный фильтр для вирусов и спама. Материалы семинара V международного научного семинара "Информационные сети, системы и технологии". Материалы семинара. М.: 2004. С. 43-49.

5. Stefanuk V. Cognitive Transactions in Individualized Education // Knowledge-Based Software Engineering. Proceedings of the Sixth Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering, V. 108 in the Series "Frontiers in Artificial Intelligence and Applications", IOS Press, Amsterdam: 2004, P. 139-146.

Статьи, принятые к публикации

1. Стефанюк В. Л. Союз щита и меча в диполях свободного рынка. – Научная сессия МИФИ-2005. Сборник научных трудов. Т. 3: "Интеллектуальные системы и технологии". Министерство образования Российской Федерации. М: Московский инженерно-физический институт.