УДК 612.82.014.001.57

Г. А. КОЛОТЕНКО

К АНАЛИЗУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

СООБЩЕНИЕ 5

Количественный анализ пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга, согласно теории Хартли—Шеннона, позволяет уточнить содержание (интенсионал) биоэлектрических мозаик, оцениваемых при визуально-качественном анализе зачастую на интуитивном, экспликационном уровне, не исключающем значительной доли прагматического элемента. Другая крайность заключается в том, что по отобранным (селективным) параметрам оцениваются нейрофизиологические процессы в целом. Информация о пространственно-временных организациях связей головного мозга позволяет получить логическую меру их вероятностных изменений.

Содержание селективной информации определяется структурой альтернативных биоэлектрических событий, отображенных в системах синхронных и асинхронных связей головного мозга. Если противоречия отсутствуют, а степень новизны имеется, то нейрокибернетический анализ можно считать содержательным, семантическим, информативным. Селективность пространственно-временных связей головного мозга апеллирует к гомоморфности отображения.

Недостаточная определенность отображенной ЭЭГ картины, логико-семантическая интерпретация этого материала позволяет строить объемные гомоморфные модели, наделенные полномочиями тезауруса. Под тезаурусом понимается множество смысловыражающих признаков закодированных синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга. В таком понимании системы синхронных и асинхронных связей головного мозга всего иерархического многообразия структур имеют смысл, если дифференцируются по весу. Критерий ценности информации об изменении системы синхронных и асинхронных связей головного мозга в однозначности заключений.

Согласно термодинамической трактовке, информация оценивается энтропией и негэнтропией. Если энтропия — мера рассеяния энергии, мера хаоса, дезорганизации материи, то негэнтропия — мера сосредоточенности, организованности, упорядоченности, вероятности, стремящейся к достоверности.

Такой подход к оценке локальных и диффузных структур пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга оказывается неопределенным. Вместе с тем энтропия и негэнтропия могут отображать степень эффекта негативности схождения и расхождения систем синхронных и асинхронных связей головного мозга при разных функциональных состояниях. В частности, построение моделей может быть по среднеквадратическим отклонениям (σ) веса систем связей головного мозга разных структур. При этом обнаруживается неантагонистическое

противоречие в оценке ценности пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга.

1. Увеличение σ приводит к рассеянию веса систем синхронных связей относительно центра тяжести, увеличению возможной меры хаоса, разнонаправленности, «дезорганизации» межцентральных отношений, по крайней мере, в силу размягчения структурных связей усугубляет их.

2. Уменьшение σ, сопутствующее повышению ранга систем связей головного мозга, приводит к вероятности, стремящейся к достоверности, к сворачиванию вариабельности степеней свободы, переходу к const или вырождению в нуль.

Количество полезной информации можно связать со степенью неожиданности форм и частностей структур пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга. В таком случае ценность информации можно рассматривать в аспекте получения дополнительного полезного дешифрированного ЭЭГ материала. Прирост количества информации о характере поведения пространственно-временных организаций связей головного мозга определяется по формуле

$$I = \log \frac{P_2}{P_1} = \log P_2 - \log P_1,$$

где P_1 — полезная информация о структуре пространственно-временной организации потенциалов головного мозга до проведения анализа данной системой; P_2 — полезная информация о структурах пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга после проведения анализа данной нейрокибернетической системой.

Выбор логарифмической функции для количественной оценки прироста полезной ЭЭГ информации базируется, в основном, на аддитивности. Чем больше неопределенность P_1, тем больше ценность информации. Если $P_1=0$, то в качестве основания суждений можно выбрать двоичное счисление: логический нуль «0» при P_1. Логическая единица информации при $P_2 I_1 = \log_2 2 = 1$.

Синхронные и асинхронные потенциалы головного мозга, как выявлено в ранее опубликованном материале, являются событиями. Системы синхронных связей головного мозга, выраженные в форме признаков вариационных рядов иерархических рангов, несут сообщения о структуре и весе пространственно-временных связей головного мозга. Между сообщением и пространственно-временным распределением случайных биоэлектрических событий существует однозначное соответствие. Единица количества информации соответствует сообщению об одной, двух, трех и т. д. синхронных и асинхронных связях, появившихся на позициях, координируемых ЭЭГ отведениями. Единица количества информации оценивается двоичной единицей (битом), обусловливая акт выбо-

ра между наличием или отсутствием потенциалов. Вследствие этого наиболее эффективным и оптимальным является кодирование структур пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга.

Мерой информации систем синхронных и асинхронных связей головного мозга служит количество сведений, содержащихся в сообщениях, выраженных в форме накопленных весов признаков вариационных рядов иерархических рангов. Мерой количества сведений является изменение веса систем синхронных связей головного мозга равных ЭЭГ выборок при различных функциональных состояниях. Количество сведений, содержащихся в признаках, формирует гомоморфный образ межцентральных отношений церебральных систем. Емкость информации определяется весом систем синхронных и асинхронных связей головного мозга.

Признаки всех вариационных рядов несут полезную информацию разной емкости, которая может меняться при переходе от одного функционального состояния головного мозга к другому. Особенно ярко выражено это свойство у систем синхронных связей головного мозга, имеющих высокую степень пространственно-временной лабильности.

При отборе оригинальных систем синхронных связей головного мозга из разнообразия вариационных рядов иерархических рангов производится переход к однообразию. Информация сжимается, уплотняется. Исходная система закодированных потенциалов несет неопределенную информацию. Ранжирование структур пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга позволяет осознать сообщения. Информация становится ценной, так как позволяет выявить и выразить в четкой форме изменения весов систем синхронных и асинхронных связей головного мозга независимо от иерархического ранга.

Направленное изменение случайных биоэлектрических событий вероятностно меняет сообщения. Возникает возможность бесстрастно измерить пространственно-временные явления головного мозга. Изложенное выше дает возможность прогнозировать системы синхронных и асинхронных связей головного мозга, используя их в топодиагностике и коррегировании гомеостаза нормы.

Совокупность признаков синхронных и асинхронных связей головного мозга приводит к разнообразию избыточности сообщений о распределении биоэлектрических событий, которая даже после ранжирования является своеобразной помехой при нейрокибернетическом анализе. Отбор признаков с однонаправленно-вероятностным распределением весов систем синхронных связей головного мозга делает информацию о пространственно-временных организациях потенциалов мозга селективной.

Избыточность сообщений обусловлена, в частности, тем, что признаки одного и разных вариационных рядов взаимосвязаны. Вместе с тем избыточность структур увеличивает объем сообщений, интерполируя направленность селективной информации о пространственно-временной организации сихронных и асинхронных

связей головного мозга, сводит к минимуму возможность неправильного трактования функционирования целостного мозга. Когда сообщения о повторе систем синхронных связей головного мозга появляются, возникает необходимость упорядочить (проранжировать) их, после чего сообщения становятся информативными. Пространственно-временная организация синхронных и асинхронных связей головного мозга отображает во всей вариабельности гомеостатические реакции.

Отображение пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга производится с помощью кодирования. Кодирование дешифрирует ЭЭГ, позволяя отразить в форме признаков систему межцентральных отношений. Если при кодировании биосигналов мозга используется двоичная система счисления, то система изохронных и полихронных элементов ЭЭГ выражена оптимальным двоичным кодом.

Система счисления — совокупность обозначений и записи структур пространственно-временного распределения потенциалов головного мозга. Если система потенциалов кодируется двоичным кодом, количество биоэлектрической информации определяется как двоичное число символов «1» и «0», воспроизводя из множества ЭЭГ колебаний только те, которые превышают уровень анализа или равны ему. Положение и набор символических единиц идентифицируется (отождествляется) со структурой локальных и диффузных пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга. В определенном смысле идентификацию можно связывать с рекурсивностью, когда структуру систем связей головного мозга можно принять как первичное понятие, определяющее пространственно-временную организацию потенциалов головного мозга, в чем усматривается семантизм биоэлектрической информации.

Поскольку потенциалы, равные логическому нулю, соответствуют шуму или отсутствию ЭЭГ волн, то они могут интерпретировать второе состояние пространственно-временных организаций потенциалов, определять количество информации. Двоичное кодирование в данном случае позволяет оперировать только логической единицей. Потеря информации, лежащей в зоне логического нуля, расценивается в таком же смысле, как учет частоты, интегрированной площади, максимальных амплитуд, восходящих и нисходящих фаз и множества других параметров, анализ которых в совокупности, комплексно либо в какой-то части не предусматривается.

Системы синхронных и асинхронных связей головного мозга позиционны. Позиции потенциалов головного мозга отображаются символической структурой пространственно-временных организаций. Позиция указывает адреса компонент структуры и делает их детерминистски-жесткими, что позволяет автоматически программировать пространственно-временные организации потенциалов головного мозга, включая такую важную технологическую операцию нейрокибернетического анализа, как ранжирование структур по вариационным рядам, накопление их за ЭЭГ выборку.

Двоичный код, формализуя структуры пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов, позволяет алгоритмизировать и программировать их. Алгоритмы пооперационно, в строго стандартизированном порядке позволяют производить нейрокибернетический анализ синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга. Алгоритм предложенной системы нейрокибернетического анализа пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга представляет множество правил, определяющих процесс анализа с учетом перехода от одной операции к другой, начиная от исходящей ЭЭГ системы, закодированной двоичным кодом, и кончая конструкцией гомоморфной модели, эквивалентно отображающей исходную систему.

Синтаксические правила алгоритмического языка показывают, как образуется формализованное понятие, отображающее пространственно-временную организацию потенциалов головного мозга. Семантические правила алгоритмического языка определяют свойства, приписываемые понятию, отображающему ту же пространственно-временную организацию возможных биоэлектрических связей. При количественном анализе ЭЭГ важно раскрыть эффективность отображения целостных электрических свойств головного мозга, оптимальность переработки закодированной ЭЭГ информации.

Машинный язык (например, АЛГОЛ) записывает алгоритмы анализа ЭЭГ в специфической, трудноосмысливаемой, громоздкой форме. Кодирование позволяет в данном приложении не только отразить качественные стороны равных и не равных структур пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга, но и упорядочить разнообразие вариабельными рядами. Структурированные пространственно-временные организации потенциалов головного мозга образуют перцептивные образы систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. Эти системы могут быть представлены плоскими и объемными гомоморфными моделями. Плоская модель графически изображает множество систем связей, вариабельность которых выражена, как неоднократно отмечалось, в форме признаков вариационных рядов иерархических рангов.

Объемная гомоморфная модель строится после минимизации, т. е. отбора оригинальных признаков с лабильным, вероятностно-направленным распределением весов, основанием которой является метрическое пространство (информационное поле), указывающее зоны координат регистрации ЭЭГ. Как указано в предыдущих сообщениях, на третьей масштабной оси такой модели откладывается вес числового параметра систем синхронных и асинхронных связей головного мозга. Деление моделей условно, с целью упростить анализ, минимизацию форм многообразных систем и подсистем связей в структурном, весовом и вариабельно-качественном аспектах.

Если компоненты структур символически обозначать буквами алфавита, то признаки закодированных потенциалов образуют слова. Признаки называются графически равными, если они имеют одинаковые длины слов. Графически равные признаки формируют вариационные ряды. Признаки однородного вариационного ряда представляют множество форм систем синхронных связей, имеющих равные, но не одинаковые структуры. Так как они отображают разные качества пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей в их функциональном значении, их можно назвать термами.

Множество признаков однородного вариационного ряда представляет объединение совокупности различных качеств биоэлектрического пространственно-временного синхронима, имеющих строгую меру выражения. Мера этих качеств определена одной длиной слова или, как принято, равной структурой признаков однородного вариационного ряда. Равенство структуры признаков — мера, а вариабельность структур — различие биоэлектрических пространственно-временных качеств связей.

Как видно, признак соединяет статические и семантические стороны пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных связей головного мозга. Так как упорядоченная последовательность признаков называется кортежем, признаки вариационного ряда являются компонентами кортежа. В процессе ранжирования признаков образуются множества параллельных кортежей упорядоченных по иерархическим рангам. Иерархические ряды отображают пространственно-временные качества биоэлектрической активности разных мер. С увеличением ранга соответственно растет величина меры признаков. Иначе говоря, чем больше (диффузней) структура, тем больше мера признака, обширней площадь пространственно-временных организаций. С ростом ранга меняется качество пространственно-временных организаций, так как изменяется вариантность охвата позиционных зон головного мозга.

Кроме изменения этих двух свойств, признаки меняют вес (частость) при различных функциональных состояниях головного мозга. Восхождение по иерархическим рангам, как правило, уменьшает вес признаков. Если бы признаки отображали не только позиции потенциалов на определенном уровне биоэлектрической активности, но и направление фаз, позволяющих судить о неустойчивой равновесности систем прямых и обратных связей, то качество структур можно было бы характеризовать размещением и перестановкой. Это позволило бы раскрыть направленность биоэлектрических полей и биотоков. Линейное размещение закодированных потенциалов связано с фазным упорядочиванием синхронных и асинхронных потенциалов на уровне анализа подобно упорядочению точек, образующих прямую.

Потенциалы, поступающие на поверхность мозга в каком-то порядке, можно выразить перестановкой. Качество признаков характеризуется сочетаниями. Сочетание из n ЭЭГ отведений по r потенциалам представляет множество r-позиционных сигналов и обоз-

начается C_r^n или $\binom{n}{r}$ при $r \leqslant n$. При гиперсинхронизации $r=n$, в остальных случаях $r<n$. Число сочетаний из множества n синхронных потенциалов по r равно количеству признаков вариационного ряда $C_n^r = \binom{n}{r} = \frac{n!}{r!\,(n-r)!}$, где (!) — факториал, т. е. произведение натуральных чисел от 1 до n.

Каждую пространственно-временную организацию синхронных связей можно упорядочить $r!$ способами. Следовательно, $r!$ перестановок каждого из C_n^r сочетаний формируют $C_n^r \times r!$ перестановок потенциалов головного мозга относительно друг друга. В таком понимании перестановка компонент структуры признаков также меняет качество биоэлектрических архитектоник. Число $C_n^r \times r!$ равно общему числу перестановок, поскольку любая перестановка из r потенциалов формируется из сочетания по r потенциалов. Признаки вариационного ряда C_n^r можно выразить формулой $C_n^r \times r! = P_n^r = \frac{n!}{(n-r)!}$. Разделив на $r!$, получим $C_n^r = \binom{n}{r} = \frac{n!}{r!\,(n-r)!}$. Вариационные ряды признаков потенциалов сворачиваются $\binom{n}{r} = \frac{n!}{1!\,(n-1)!} = n$. Вариационный ряд признаков гиперсинхронных потенциалов равен

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{n!\,(n-n)!} = \frac{1}{0!} = 1.$$

Это граничные значения признаков вариационных рядов.

Разветвление и сворачивание признаков закодированных потенциалов вариационных рядов имеет форму гауссова распределения. Если модой обозначить максимальное множество признаков вариационного ряда, например, C_8^4, то можно выделить множества признаков разворачивающихся рядов $C_8^2 = 28$, $C_8^3 = 56$, симметричных соответствующим множествам признаков сходящихся рядов: $C_8^6 = 28$, $C_8^5 = 56$. Эту симметричность множества признаков вариационных рядов можно выразить формулой

$$\left(\frac{n}{n-r}\right) = \frac{n!}{(n-r)!\,r!} = \binom{n}{r}.$$

При упорядочивании структур множества признаков вариационных рядов можно пользоваться перестановками, так как положение признаков в ряду не имеет принципиального значения. Достаточно произвольно выбрать любую перестановку признаков и распространить на исследуемые ЭЭГ выборки. Поэтому кортеж — условное понятие.

Признаки вариационных рядов могут сопоставляться. При этом совершенно не обязательно сравнивать все признаки вариационных рядов, достаточно характеристических. Структура анализируемых признаков выступает как способ связи между признаками одного и разных рангов вариационных рядов. Множество признаков, наделенных структурой, в кибернетике называется пространством. Множество вариационных рядов разных рангов представляет изображение всевозможной совокупности пространственно-временных организаций синхронных и асинхронных потенциалов головного мозга. Изображение является проекцией биоэлектрических мозаик. Отобранные признаки являются подмножествами по отношению к исходному и упорядоченному множествам признаков.

Критерий оптимального и эффективного отбора признаков иерархических структур — сложная и самостоятельная задача. Критерии могут быть самыми разнообразными. Отбор признаков по весам центров тяжести, среднеквадратичных отклонений и другим моментам и числовым характеристикам. Каждому критерию соответствует некоторая «добротность», позволяющая определить процент дифференцированного распознавания функциональных изменений головного мозга. Отобранные признаки изображают определенные свойства пространственно-временной синхронизации. Возникает необходимость разработать систему критериев или обобщенного критерия оценки пространственно-временного распределения потенциалов головного мозга.

Темплетное отображение пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга позволяет лаконично компоновать, типизировать вероятностные биоэлектрические качества. Отбор совмещенных и спектральных признаков рационализирует и минимизирует нейрокибернетический анализ. В соответствии с теорией распознавания образов, отбор признаков иерархических структур позволяет получить селективную ценную информацию и в результате экономии времени делает выбранный критерий оценки эффективным. Темплетное изображение форм систем синхронных связей позволяет применять дискриптор, под которым понимается организация, индексируемая координатами.

Отбор типизированных признаков совпадает с поисковым маршрутом количественного анализа. Пересечение компонент иерархических структур признаков связан с дифференциацией весов разных функциональных состояний. Пересечение компонент иерархических структур может производиться параллельно по нескольким «ветвям» (маршрутам). Селективный информационный поиск связан со снятием семантической (содержательной) и статической неопределенностей.

Неопределенность о признаках систем пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга на данном этапе анализа связана с отбором из упорядоченного разнообразия оригинальных, типизированных признаков. Отбор показательных признаков называется репрезентативным отбором, так как отобранные признаки достаточно полно характеризуют все множества призна-

ков. Разумеется, как бы не удачен был репрезентативный отбор, абсолютной полноты о целостном функционировании головного мозга не будет, поскольку выборка не может заменить генеральную совокупность. Более того, некоторые особенности биоэлектрических отношений вообще не отразятся в отобранном множестве признаков, поэтому репрезентативность отбора признаков является относительной. Фактически репрезентативный отбор показательных признаков применяется тогда, когда исследование всех разнообразных характеристик систем синхронных и асинхронных связей практически производить не целесообразно.

При репрезентативном отборе каждый переход от признаков вариационного ряда низшего ряда к высшему является поисковым шагом селективной информации. Выборка объединяет устремленность признаков к достоверному однообразию пространственно-временных биоэлектрических качеств во всей цепи переходов от локальности к диффузности. Вес — это повтор копий — однотипных пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга. Выборка признаков устанавливает выразительную связь разнообразных копий пространственно-временных организаций потенциалов головного мозга в различные моменты времени разных функциональных состояний мозга. Соответствие этому позволяет наделять выборку прогностическими признаками.

Таким образом, при нейрокибернетическом анализе выделяются два основных этапа: 1) кодирование и упорядочение разнообразия пространственно-временных организаций потенциалов. В результате первого этапа количественное однообразие «уничтожает» разнообразие; 2) отбор из разнообразия показательного, типичного однообразия. На втором этапе отбирается практически ценная селективная информация.

БИБЛИОТЕКА
ХИРЭ