

Алгоритм аналізу імпульсної активності центрального нейрона за допомогою електронної обчислювальної машини

М. В. Яровицький

Група кібернетики Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця
Академії наук УРСР, Київ

В цій статті описано алгоритм аналізу імпульсної активності центрального нейрона за допомогою електронної обчислювальної машини (ЕОМ) за методом, викладеним в [2]. Суть методу полягає ось у чому. Імпульсна активність розглядається як нестационарний випадковий потік однорідних подій з періодичною ведучою функцією. При застосуванні до організму деякого подразнення (внутрішнє або внутрішньо-артеріальне введення хімічних речовин, роздуття сечового міхура, електричні подразнення) на ведучу функцію накладається не випадкова неперіодична компонента, яка характеризує відповідь клітини на подразнення. Відновити ведучу функцію за імпульсною активністю нейрона неможливо. Можна лише наблизитись до неї шляхом складання графіка частоти (зміна частоти за часом), який являє собою суму ведучої функції і деякого стаціонарного випадкового процесу без середнього значення. Виявляється можливим з кількох записів графіка частоти виділити з точністю до сталої складову, яка характеризує відповідь нейрона на подразнення.

Встановлено (див. там же), що для фонові імпульсної активності (перед подразненням) існує стаціонарний розподіл (А) проміжків часу між послідовними імпульсами. В усіх розглянутих випадках виявилось, що такі розподіли мають властивість дво-modalності, що вказує на розташування імпульсів окремими групами. Загальні розподіли проміжків між послідовними імпульсами, складені для дільниць викликані активності (після подразнення), істотно відрізняються від розподілів, складених для дільниць фонові активності. Ця відміна також в якійсь мірі може характеризувати відповідь нейрона на подразнення. Виявився також корисним розгляд таких розподілів: розподілу (Б) проміжків між послідовними імпульсами всередині груп, розподілу (В) проміжків між групами імпульсів та розподілу (Г) кількості імпульсів в групах.

Імпульсна активність, що реєструється під час досліду, записується на магнітну стрічку. Запис провадиться на дві доріжки. На першій доріжці записується імпульсна активність, на другій — відмітка про подразнення у вигляді імпульсів сталої частоти 500 гц. Від кожного нейрона робиться декілька записів, які мають ту саму будову. Кожний запис складається з трьох зон. Перша зона являє собою імпульсну активність перед подразненням, друга — імпульсну активність під час подразнення, третя — після закінчення подразнення. Записи мають задовольняти таким вимогам: 1) перша і третя зони мають

містити не
писі мають
писів N ма
Для ве
ціальний в
башовим [3
які дорівни
жені в умо
При введен
сана на др
Інтервали,
пам'яті у в
інтервалу, а
тервалів в
валів в ко

Перед
в машину в
обчислюєтьс
ніж 150 сек

Програм
самостійних
програмою
обробки для
кі числа: 1)
3) числа a_1 ,
пульсами вс
відсутності
сті зон, 5) р
обробки кож
зон складаєт
бан (МБ). П
мою № 1 уп
ки частоти, з
з них виділя
видається на

Блок-схе
складається з
блок-схеми) і
тування з МБ
обробки попе
містить кільк
дення чергови
ративній пам'
попередньої ч
введення пері
передню части

При вико
числюється се
шкала цього р
ни a_1 , a_2 , a_3 , 1
редині груп і
виявляється гру
люються такою
цих розподілів
ристаних робо

містити не менш, як по 200 імпульсів, 2) подразнення в кожному записі мають бути однаковими за тривалістю і силою, 3) кількість записів N має бути не менш, як 10.

Для введення імпульсної активності в ЕОМ використовується спеціальний ввідний пристрій, розроблений К. О. Шкабарою і Ю. С. Рубашовим [3]. За допомогою цього пристрою в машину вводять числа, які дорівнюють послідовним проміжкам часу між імпульсами і виражені в умовних одиницях (кожна така одиниця дорівнює $\frac{1}{3}$ мсек). При введенні інтервалів другої зони відмітка про подразнення, записана на другій доріжці, подається на тригер знака ввідного пристрою. Інтервали, які належать до другої зони, надходять до оперативної пам'яті у вигляді від'ємних чисел, модуль яких збігається з довжиною інтервалу, а знак вказує на належність до другої зони. Введення інтервалів в машину виконується послідовними ділянками по 400 інтервалів в кожній.

Перед початком обчислень після надрукування контрольної суми в машину вводять з пульта довжину проміжку часу, на протязі якого обчислюється графік частоти. Цей проміжок не повинен бути більшим, ніж 150 сек.

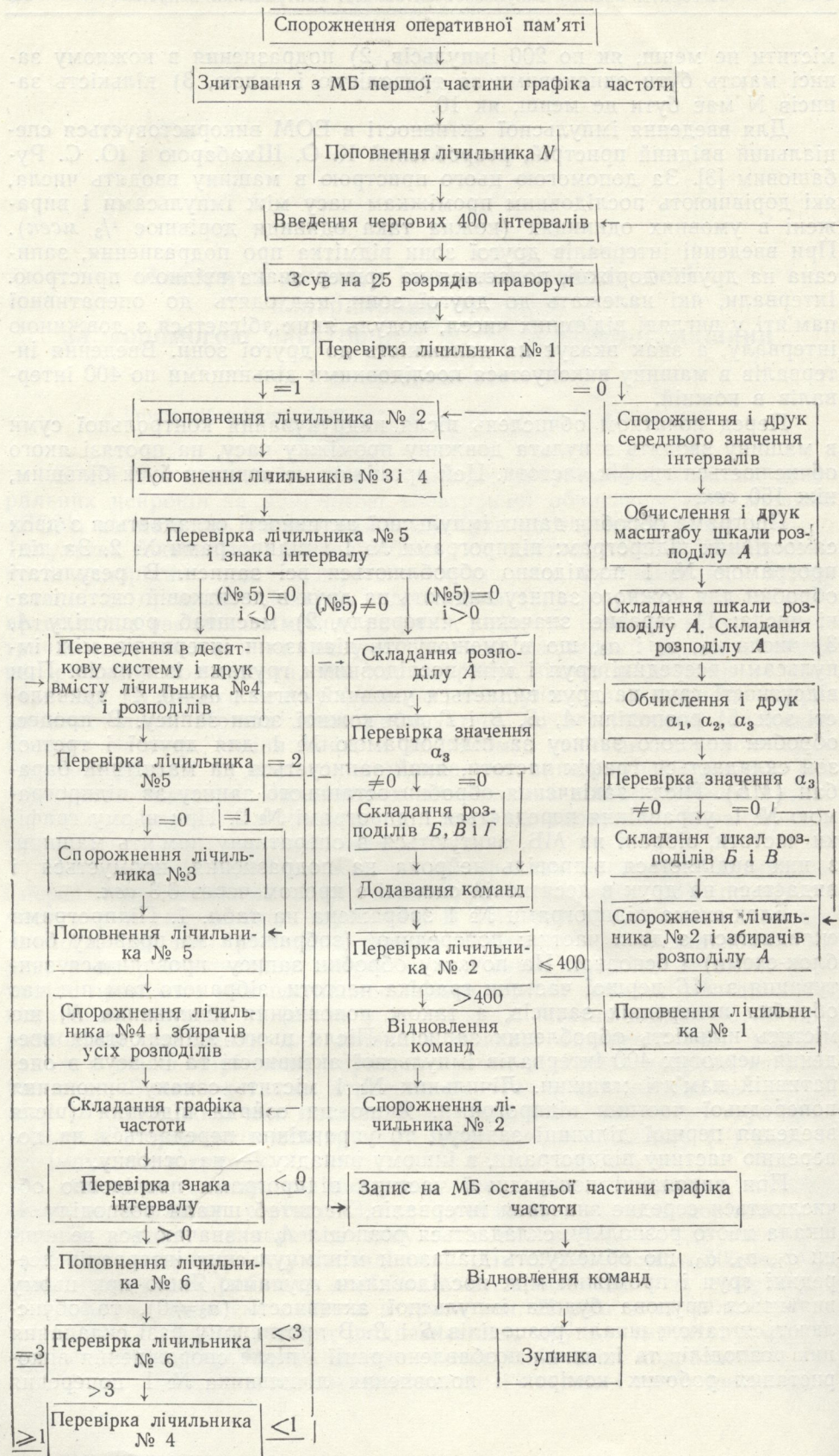
Програма обробки даних імпульсної активності складається з двох самостійних підпрограм: підпрограми № 1 і підпрограми № 2. За підпрограмою № 1 послідовно обробляються всі записи. В результаті обробки для кожного запису видають на друк в десятковій системі такі числа: 1) середнє значення інтервалу, 2) масштаб розподілу A , 3) числа a_1 , a_2 і a_3 , що відмежовують діапазони інтервалів між імпульсами всередині груп і між послідовними групами імпульсів. При відсутності груп на друк видається умовний сигнал $a_3=0$, 4) тривалості зон, 5) розподіли A , B , B і G для кожної зони запису. В процесі обробки кожного запису за підпрограмою № 1 для другої і третьої зон складається графік частоти, який записується на магнітний барабан (МБ). Після закінчення обробки останнього запису за підпрограмою № 1 управління передається підпрограмі № 2. При цьому графіки частоти, зібрані на МБ, зчитуються в оперативну пам'ять машини, з них виділяється відповідь нейрона на подразнення, нормується і видається на друк в десятковій системі з кроком через 0,3 сек.

Блок-схема підпрограми № 1 зображена на табл. 1. Підпрограма складається з двох частин: попередньої (зображена на правому боці блок-схеми) і основної. На початку обробки запису провадиться зчитування з МБ першої частини графіка частоти, зібраного там під час обробки попередніх записів, а також поповнення лічильника N , що містить кількість оброблених записів. Після цього здійснюється введення чергових 400 інтервалів імпульсної активності та їх зсув в оперативній пам'яті машини. Лічильник № 1 містить ознаку виконання попередньої частини підпрограми. Якщо ця ознака відсутня (після введення першої ділянки запису), то управління передається на попередню частину підпрограми, в іншому випадку — на основну.

При виконанні попередньої частини підпрограми послідовно обчислюється середнє значення інтервалів, масштаб шкали розподілу A , шкала цього розподілу, складається розподіл A , визначаються величини a_1 , a_2 , a_3 , що обмежують діапазони міжімпульсних інтервалів всередині груп і проміжки між послідовними групами. Якщо при цьому виявиться групова будова імпульсної активності ($a_3 \neq 0$), то обчислюються також шкали розподілів B і B . В противному разі складання цих розподілів та їх шкал позбавлено рації і після спорожнення використаних робочих комірок і поповнення лічильника № 1 попередня

Блок-схема підпрограми № 1

Таблиця 1



частина о
частину п
Оброб
кожний ін
і 4. Лічил
оперативн
своєчасног
інтервалу
інтервалів,
частоти і с
графіка. В
Цей лічиль
припинення
деного в м
Лічиль
вмісту цьог
женням про
що розгляд
мають тіль
належність
передається
(групова б
розподілів і
ліній перед
вибір насту
для машини
наступний ін
ться, або до
падку почин
другому — з
Якщо лі
від'ємний, то
разі триваліс
дені для цієї
№ 3 і 4 і
складання гр
тому самому
інтервалів др
інтервалів тр
частоти і в д
Вважаєть
слідовних інт
чильник № 6,
лених після п
3, то провади
ка № 4) і розп
ніж 3, то обр
другої зони. В
лічильника №
робка чергови
третьої зони і
валів третьої з
розподілів на д
були змінені в
частини графіка

частина обробки закінчується і управління передається на основну частину підпрограми.

Обробку за основною частиною підпрограми послідовно проходить кожний інтервал запису. Спочатку поповнюються лічильники № 2, 3 і 4. Лічильник № 2 містить номер інтервалу з початку введеної в оперативну пам'ять ділянки імпульсної активності і призначений для своєчасного введення чергової ділянки, коли обробка останнього 400-го інтервалу попередньої ділянки закінчена. Лічильник № 3 містить суму інтервалів, обчислену від початку чергової частини значень графіка частоти і служить для своєчасного запису на МБ цієї частини значень графіка. Вміст лічильника № 4 — сума інтервалів від початку зони. Цей лічильник призначений для видачі на друк тривалостей зон і для припинення обчислень після того, як його вміст досягне числа l , введеного в машину з пульта до початку обчислень.

Лічильник № 5 містить ознаку номера зони. В залежності від вмісту цього лічильника обробка ведеться за тим чи іншим розгалуженням програми. Якщо лічильник № 5 містить 0 і при тому інтервал, що розглядається, є додатний (як уже було відмічено, знак мінус мають тільки інтервали, які належать до другої зони), то очевидна належність інтервалу до першої зони. В цьому випадку управління передається на складання розподілів A , B , V і G , причому, якщо $\alpha_3=0$ (групова будова імпульсної активності не виявлена), то складання розподілів B , V і G не провадиться. Після складання розподілів управління передається на додавання команд, що фактично являє собою вибір наступного інтервалу (пояснення операції додавання команд для машини «Київ» див. в [1]). При цьому перевіряється, чи належить наступний інтервал до ділянки імпульсної активності, що розглядається, або до наступної (перевірка лічильника № 2). В першому випадку починається обробка чергового інтервалу за тією ж схемою, в другому — здійснюється введення наступних 400 інтервалів.

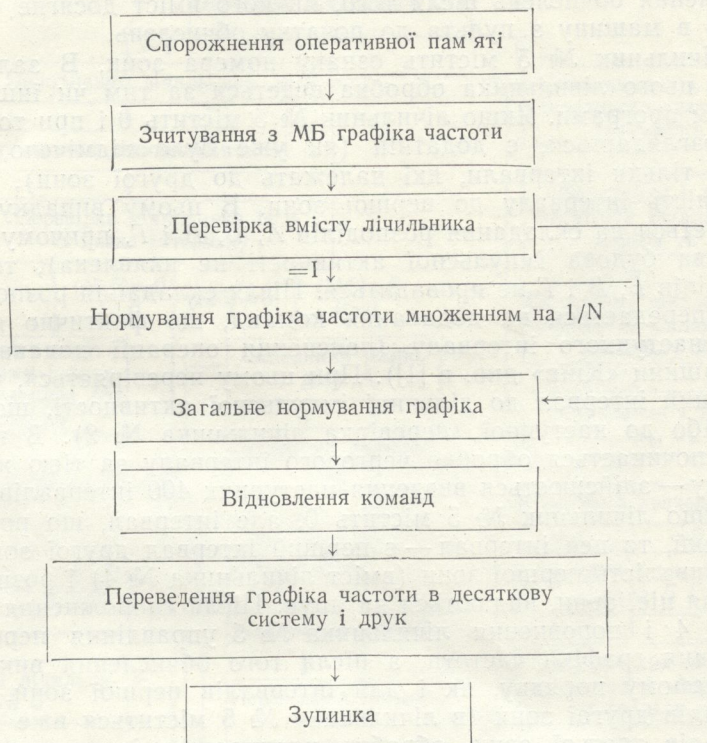
Якщо лічильник № 5 містить 0, але інтервал, що розглядається, від'ємний, то цей інтервал — є перший інтервал другої зони. В цьому разі тривалість першої зони (вміст лічильника № 4) і розподіли, складені для цієї зони, видаються на друк. Після спорожнення лічильників № 3 і 4 і поповнення лічильника № 5 управління передається на складання графіка частоти, а після того обчислення виконуються в тому самому порядку, як і для інтервалів першої зони. Для інших інтервалів другої зони (в лічильнику № 5 міститься вже 1), як і для інтервалів третьої зони, обробка починається із складання графіка частоти і в дальшому провадиться за вже описаною схемою.

Вважається, що інтервал належить до третьої зони, якщо три послідовних інтервали виявляються додатними. Для цього служить лічильник № 6, в якому збирається кількість додатних інтервалів, виявлених після подразнення. Якщо в цьому лічильнику міститься число 3, то провадиться видача на друк тривалості другої зони (з лічильника № 4) і розподілів за цю зону. Якщо вміст лічильника № 6 більший, ніж 3, то обробка провадиться за тією ж схемою, як і для інтервалів другої зони. Виняток становить лише додаткова операція — перевірка лічильника № 4. Коли вміст цього лічильника досягне числа l , то обробка чергових інтервалів припиняється, видається на друк тривалість третьої зони і розподіли за цю зону. Оскільки під час обробки інтервалів третьої зони в лічильнику № 5 міститься число 2, то після видачі розподілів на друк управління передається на відновлення команд, що були змінені в процесі обчислень, а потім — на запис на МБ останньої частини графіка частоти та на зупинення.

Блок-схема підпрограми № 2 зображена в табл. 2. Після спорожнення оперативної пам'яті провадиться читання з МБ графіка частоти і вмісту лічильника M (кількість оброблених записів). Оскільки зчитаний графік утворений накладенням графіків частоти всіх оброблених записів, то перед видачею на друк необхідно здійснити нормування графіка діленням на кількість записів і загальне нормування, що має метою підготовку друку графіка в десятковій системі в одиницях, рівних $0,1 \text{ імн/сек}$. Щоб забезпечити можливість виведення на друк графіка частоти одного окремого запису, в програмі передбачено обхід нормування (бічна стрілка на блок-схемі).

Таблиця 2

Блок-схема підпрограми № 2



За описаним алгоритмом було складено програму для ЕОМ «Київ» (див. [1]). Програму було відлажено із застосуванням штучного числового матеріалу, складеного так, щоб при відлаженні були випробувані всі розгалуження програми.

Слід сподіватись, що системна обробка записів імпульсної активності центральних нейронів за описаним алгоритмом на ЕОМ допоможе більш докладно вивчити її інформаційні властивості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глушков В. М., Ющенко Е. Л., Вычислительная машина «Київ» (математическое описание), К., 1962.
2. Преображенский Н. Н. и Яровицкий Н. В., Биофизика, № 3, 1963.
3. Шкабара К. О., Рубашов Ю. С., Фізіол. журн. АН УРСР, т. X, № 3, 1964.

Надійшла до редакції
17.1 1964 р.

Алгоритм анализа импульсной активности центральных нейронов с помощью электронной вычислительной машины

Н. В. Яровицкий

Группа кибернетики Института физиологии им. А. А. Богомольца
Академии наук УССР, Киев

Резюме

В статье описан алгоритм анализа импульсной активности центральных нейронов при помощи электронной вычислительной машины по методу, описанному нами ранее [2].

Мы считаем, что системная обработка записей импульсной активности центральных нейронов по описанному алгоритму на электронно-вычислительной машине поможет более подробно изучить ее информационные особенности.

Algorithm of the Analysis of the Impulse Activity of Central Neurons by Means of Electronic Computing Machines

N. V. Yarovitsky

Cybernetic group of the A. A. Bogomoletz Institute of Physiology of the Academy of
Sciences of the Ukrainian SSR, Kiev

Summary

A description is given of the algorithm of the analysis of the impulse activity of central neurons by means of electronic computing machines.

Systematic analysis of impulse activity recordings of the central neurons by means of the described algorithm on electronic computers may help reveal hitherto unknown informational properties.