

Метод “зворотнього рахунку до початку цикла” включає наступні операції:

1) прийняття послідовної m -розрядної кодової комбінації в регістр RG (перетворення послідовного коду в паралельний) через комутатор (К);

2) в реверсивний лічильник СТ(-1) початково записується комбінація “всі одиниці”;

3) генерування m -послідовності генератором тактових імпульсів (ГТІ), регістром (RG) і схемою сумування по модулю 2 “Викл АБО”. Одночасно необхідно декрементувати (зменшувати на 1) вміст лічильника СТ(-1);

4) по сигналу “1” з виходу схеми “Г” – зупиняється ГТІ і двійковий код на виході СТ(-1) буде рівний порядковому номеру такту при генерації.

Таким чином досліджені властивості послідовностей максимальної довжини є корисними для використання їх в системах передавання виміральної інформації з віддалених об’єктів, а також для зменшення надлишковості та підвищення завадостійкості повідомлень.

1. Муттер В.М. Основы помехоустойчивой телепередачи информации. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1990. – 288 с. 2. Прокис Джон. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с. 3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ. – Изд шестое. М.: Мир, 2001. – 704 с.

681.121

МЕТОДИ АПАРАТНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ВИТРАТИ ФАЗ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПОТОКІВ

© Райтер П.М., Карнаш О.М., 2003

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Викладено вимоги до апаратного забезпечення системи, яка реалізує нейромержеві методи обробки інформації. Запропоновано варіанти структури та обґрунтовано вибір елементної бази на основі аналізу можливостей сучасних мікроелектронних пристроїв.

Сучасна інформаційно-вимірвальна система (ІВС) складається із функціонально пов’язаних пристроїв, які поряд з вимірюванням забезпечують все необхідне інформаційне обслуговування контрольованого об’єкту, зокрема, автоматизований збір, подання, передачу, запам’ятовування, реєстрацію та обробку виміральної інформації. При розгляді двофазового вуглеводневого потоку експлуатаційних нафтогазових свердловин, як об’єкту контролю, використання адаптивних і робастних методів контролю дозволяє проектувати та використовувати ІВС при значно обмежених апріорних відомостях про вимірювані дані та завади. В процесі реалізації таких методів для визначення витрати фаз вуглеводневого потоку необхідно оперативно вимірювати значну кількість параметрів потоку. В літературі [1] по багатofазній витратометрії вказані потоки прийнято поділяти на три основні типи в залежності від їх структури: бульбашковий, пробковий чи розшарований потік та їх комбінації. Зміна співвідношення витрати газу і рідини в потоці в поєднанні із зміною його термодинамічних параметрів дає набір N станів об’єкту контролю. Кожному з цих станів об’єкту контролю відповідають конкретні значення M вимірюваних параметрів потоку. До цих параметрів відносяться як термодинамічні пара-

метри потоку: тиск, температура, пульсації тиску, теплоємність, так і результати його пасивного та активного зондування: характер і швидкість проходження хвиль звукового і ультразвукового діапазону через потік, характер теплового поля по перерізу потоку, проходження електромагнітного випромінювання через потік. Таким чином, добуток $N \times M$ значень вказаних параметрів утворює базу даних, яка із точністю первинних перетворювачів, що використовуються для вимірювань, характеризує двофазовий вуглеводневий потік. Якщо прийняти, що первинні перетворювачі надають достовірну інформацію, то зміна значення на виході тільки одного з них (при стабільності значень інших ($M-1$) давачів) буде характеризувати вже іншу структуру потоку з множини N станів його структур. На даний час існують такого типу бази даних (зокрема Computational Fluid Dynamic (CFD) Simulation [2] або PPDS [3] з NEL), які містять як аналітичні моделі, так і великий набір статистичних даних взаємозв’язку між N станами потоку та M його вимірюваними параметрами. Але вони призначені для використання в значній мірі для розробки технологічних процесів переробки та транспорту вуглеводневих потоків. Крім того, для оцінки струк-

тури потоку по цих базах даних як вихідні необхідні точні дані про якісний хімічний склад потоку. Тому для практичної багатофазової витратометрії в умовах промислів вони без модифікації є мало придатними.

Доцільно розробити такі пристрої, які б в процесі експериментальних досліджень структури газорідних потоків дозволили створити таку базу даних та реалізувати пошук в ній інформації про витрату фаз потоку при оперативному контролі структури потоків експлуатаційних свердловин. При цьому обов'язковою умовою є забезпечення можливості подальшого уточнення даних в цій базі в процесі експлуатації пристрою.

За останні п'ятнадцять років проблемі розробки багатофазних витратомірів присвячена значна кількість науково-технічних конференцій, наукових робіт та патентованих інженерних розробок [2,7,8,9]. Найбільш розгорнута програма науково-дослідних робіт в цьому напрямку виконується в Національній енергетичній лабораторії NEL (Великобританія, Глазго). Вченими NEL [10] розроблено томографічну систему контролю структури багатофазового потоку на базі використання групи ємнісних давачів інформації з обробкою інформації за допомогою нейромережових алгоритмів. Але апаратно така система реалізована на базі персонального комп'ютера в умовах лабораторії і має суттєвий недолік – зменшення чутливості методу контролю при наявності в потоці водяної фази, діелектрична проникність якої багато вища за діелектричну проникність нафти і газу. Тому нами пропонуються як інформаційні сигнали розроблюваного пристрою контролю використати сигнали давачів з різною фізичною природою генерації сигналів в об'єкті контролю. При цьому постає проблема ідентифікації таких стохастичних складних сигналів.

Вказану проблему при розгляді об'єкту контролю як "чорного ящика" можна вирішити двома методами: 1) поєднанням табличного пошуку з інтерполяцією, 2) реалізацією нейронних мереж.

При реалізації першого методу спочатку створюється, умовно кажучи, таблиця ємністю $N \times M$ комірок, де N – набір градацій співвідношення фаз потоку для вибраного набору сумарних витрат суміші, M – набір відповідних значень вимірюваних параметрів потоку. Далі в процесі контролю вимірюються конкретні текучі M параметрів потоку та за допомогою табличного пошуку та інтерполяції по таблиці бази даних визначається поточне значення витрати суміші та окремих фаз потоку, для яких значення M вимірюваних параметрів є найбільш близькими. Але навіть при використанні сучасних мікроелектронних банків пам'яті та засобів обробки інформації реалізувати поставлену задачу таким

методом є економічно неефективно і практично досить складно. Крім того, відомості про потік, які використовуються в описі такої табличної моделі на стадії проектування системи (тобто до її використання) – апріорні дані – в процесі функціонування такої системи, її фактичні характеристики, можуть відрізнятися від апріорних. В цьому випадку система, оптимізована для моделі, вже може бути не оптимальною для вимірювань реальних сигналів.

Для вирішення вказаної проблеми в роботі [4] пропонуються три підходи:

– проектувати системи із запасом з розрахунком на можливості відхилення характеристик моделі в гіршу для системи сторону. В цьому випадку рівні градації структури потоків повинні бути досить широкими, що суттєво погіршує метрологічні характеристики ІВС;

– проектувати систему так, щоб вона була нечутливою до зміни визначених M вимірюваних параметрів потоку в межах вибраного діапазону (стійкі або робастні системи);

– проектувати системи так, щоб в ході їх функціонування вони могли автоматично підлагоджувати свої параметри, алгоритми і структуру до змінюваних в порівнянні з моделлю характеристик інформаційних повідомлень, до характеристик сигналів, завод і зовнішнього середовища. Такі системи прийнято називати адаптивними. Налагодження здійснюється на основі отримання системою апостеріорної, текучої інформації про характеристики повідомлень (сигналів, завод, середовища).

Найбільш оптимально вказані другий і третій підходи вирішення проблеми розробки ІВС на даний час можна забезпечити на основі нейронної мережі. Для цього є як апаратні, так і програмні напрацювання.

Тому другим методом створення систем контролю структури та вимірювання витрати фаз вуглеводневих потоків є реалізація баз даних інформаційних сигналів давачів потоку і відповідних витрат фаз потоку на основі штучних нейрон мережових структур. Для практичної реалізації таких систем необхідно забезпечити вирішення двох основних задач:

– фізичне моделювання в стендових або промислових умовах практично існуючих структур та витрат двофазових потоків із синхронною реєстрацією контрольованих параметрів цих потоків;

– розробка та виготовлення на основі сучасної елементної бази та програмного забезпечення пристрою обробки інформації, який би на першому етапі містив типову нейромережову модель вказаної вище бази даних, а в процесі настройки пристрою

була б можливість її уточнення (навчання мережі) та адаптації до конкретних умов вимірювань сировинних потоків на нафтогазових промислах.

Структури сучасних засобів обробки інформації давачів систем контролю на нашу думку в загальному можна класифікувати на чотири групи в залежності від їх елементної бази:

системи, які побудовані на інтегральних схемах низького рівня інтеграції (на “жорсткій логіці”);

системи, які побудовані на мікропроцесорних блоках та однокристальних мікроконтролерах;

системи, які побудовані на цифрових сигнальних процесорах (DSP);

системи, які побудовані на напівпровідникових матрицях програмованих логічних масивів (FPGA, CPLD).

Виходячи з вказаної класифікації засобів обробки інформації апаратна реалізація нейронних мереж при вимірюванні витрати фаз вуглеводневих потоків на нашу думку може здійснюється двома методами.

Перший метод – створення мережі на мікроелектронних пристроях, які забезпечують повністю програмну реалізацію елементів мережі (нейронів) та взаємозв'язків між ними. Тобто структура мережі та її характеристики втілені в мікроелектронному пристрої у вигляді послідовності кодів програми, яка виконується в процесі функціонування пристрою обробки інформації за нейромережевим алгоритмом. Елементною базою для апаратної реалізації мереж вказаним методом є мікроконтролери та цифрові сигнальні процесори (ЦСП). Нами розроблено пристрій нейромережевої обробки інформації від трьох давачів аналогових сигналів на базі мікро-

контролера PIC18F452, який зокрема має тактову частоту 40 МГц, електронепрограмовану пам'ять програм 32 Кбайти, восьмивходовий аналого-цифровий перетворювач. Реалізована в пристрої тришарова мережа (рис.1) на 19 нейронів міститься в програмному коді об'ємом 26 Кбайт. Розрахунки виконуються за допомогою арифметики з плаваючою комою з точністю до 2^{-15} . Розробка та лабораторні випробування пристрою показали, що використання мікроконтролерів для реалізації нейромереж доцільне для мереж об'ємом до 50 нейронів і до 4 шарів. При цьому забезпечується належна швидкість роботи мережі і реально можливо розмістити програмний код мережі в пам'яті контролера. У випадку, коли швидкість роботи мережі не є критичним параметром (дискретизовані інформаційні сигнали накопичуються в пам'яті даних і їх обробка виконується не в реальному часі), на мікроконтролерах типу PIC18F452 реально можливо реалізувати багатошарові нейромережі об'ємом більше 100 нейронів при зчитуванні і виконанні процесором програмного коду мережі із зовнішньої пам'яті команд об'ємом до 1 Мбіта. Такий пристрій обробки інформації давачів двофазового потоку можливо використовувати для контролю тільки розширеного потоку або потоку з низьким газовим фактором. Забезпечення ідентифікації і контролю пробкової структури двофазового потоку вимагає реалізації системи контролю, яка б працювала в режимі реального часу. З цією метою доцільно для розробки блоків обробки інформації використовувати більш потужні цифрові обчислювальні пристрої – цифрові сигнальні процесори.

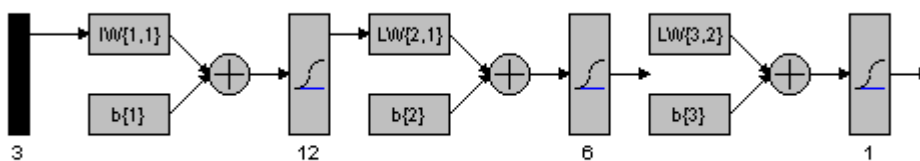


Рис. 1. Структура нейромережі реалізованої в мікроконтролері пристрою ідентифікації типу газорідного потоку

Другий метод апаратної реалізації нейронної мережі для пристрою контролю структури газорідного потоку полягає у розробці електронного блоку на основі інтегральних схем базових цифрових та логічних елементів: суматорів, помножувачів, мультиплексорів, лічильників та шифраторів. Таким чином, структура мережі закладається у електронній схемі пристрою, коефіцієнти

формуються відповідним включенням двійкових шифраторів, а швидкість визначається технологією виготовлення елементів електронних схем. При вказаній реалізації нейрообчислювачів технічно складно внести корективи в структуру мережі, яка поряд з цим має значні габарити та енергоспоживання. Тому доцільно для усунення вказаних недоліків реалізувати електронну схему нейрон-

мережі безпосередньо на кристалі напівпровідникового мікроелектронного пристрою – матриці програмованого логічного масиву. У нейромереж, реалізованих на елементній базі матриць програмованих логічних масивів (FPGA або CPLD фірм Xilinx, Altera, Lattice) є суттєва перевага. Оскільки нейромережа фізично втілена у електронній схемі масиву паралельно працюючих логічних вентилів, які крім того розраховані на роботу на частотах до 150-200 МГц, то її швидкодія буде забезпечувати надання інформації практично в режимі реального часу. Це пов'язано з розпаралеленням обробки інформації. Але на даний час реалізація таких систем є доволі складною і, що більш суттєво багато дорожчою, чим реалізація їх на основі цифрових сигнальних процесорів.

У кожній з вказаних систем обробки інформації є переваги і недоліки, які визначаються: вартістю елементної бази, складністю та вартістю розробки, терміном розробки, можливістю модифікації, здатністю до адаптації до умов вимірювання, габаритно-масові параметри та параметри продуктивності та енергоспоживання. При апаратній реалізації штучної нейронної мережі в процесі переходу від систем п.1 до п.4 наростають її швидкодія та продуктивність при зменшенні габаритів та енергоспоживання, хоча разом з тим збільшується вартість програмного забезпечення, яке необхідне для розробки таких систем.

Нейромережа структурно складається з набору шарів однотипних елементів з великою кількістю взаємозв'язків між ними. Кожен з елементів (рис.2) містить суматор Σ та типовий елемент визначення функції значимості f (або на основі табличного пошуку, або на основі розрахунку функціональної залежності). На вхід кожного з суматорів подається визначена кількість вхідних сигналів p_i , кожен з яких арифметично множиться на константу вагового коефіцієнта $w_{i,i}$ та значення базисної константи b .

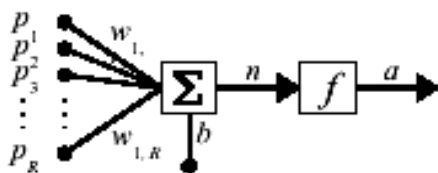


Рис.2. Структура базового елемента нейронної мережі

Як функція значимості при розробці нейронних мереж нами вибрана логістична функція (сігмоїда, функція Фермі) [6]:

$$f(n) = a = \frac{1}{1 + e^{-n}}, \quad (1)$$

де, a - значення функції значимості елемента нейронної мережі, n - зважена сума входів елемента нейромережі.

Наприклад, тришарова мережа може формувати на виході багатовимірну функцію при відповідному виборі діапазону зміни сигналів та параметрів базових елементів мережі:

$$a^3 = f^3(LW_{3,2} \cdot f^2(LW_{2,1} \cdot f^1(IW_{1,1} \cdot p + b_1) + b_2) + b_3), \quad (2)$$

де $LW_{3,2}$, $LW_{2,1}$, $IW_{1,1}$ – матриці вагових коефіцієнтів третього, другого і першого шарів; f^3 , f^2 , f^1 – функції значимості виходів шарів мережі; b_1 , b_2 , b_3 – базисні константи шарів мережі.

Таким чином, структурно мережа складається із великої кількості взаємопов'язаних однотипних елементів з n входами і одним виходом. Кожен з інформаційних сигналів який поступає від давача та первинного масштабуючого перетворювача в АЦП дискретизується по часу, квантується по рівню і кодується двійковим кодом. Таким чином, нейронна мережа має на вході електричний цифровий сигнал. Тому її можливо реалізувати як програмно, так і у вигляді електронної схеми обома вище вказаними методами. Після аналого-цифрового перетворення здійснюється попередня фільтрація інформаційних сигналів з метою збільшення відношення сигнал/шум. З цією метою виконується швидка Фур'є трансформація вхідної вибірки, її осереднення по набору і методами тих же нейронних мереж компресія вхідного спектру частотних складових енергетичного спектру інформаційного сигналу. Скомпресований сигнал вже меншої розрядності (10-15 амплітуд частотних складових енергетичного спектру інформаційного сигналу) подається на вхід штучної розробленої нейронної мережі, яка в процесі своєї роботи генерує на виході значення витрат фаз потоку. Слід відмітити, що нейромережа генерує вихідний сигнал на основі обробки спектральних складових всього переліку інформацийних сигналів після попередньої їх фільтрації та компресії. Це вимагає значних обчислювальних потужностей системи і по можливості розпаралелення обробки інформації. В процесі налагодження пристроїв на основі нейромереж в конкретних умовах контролю доцільним є уточнення вагових коефіцієнтів мережі і можливо навіть її структури, тому повинна бути можливість перепрограмування мережі, що найкраще забезпечується при використанні Flash-пам'яті, яка розміщується без посередньо на кристалі.

Нейронна мережа на основі тестових вхідних та вихідних даних розробляється в середовищі пакету

прикладних програм MathLab. Поскільки існує програма інтеграція MathLab з середовищем розробки програмного забезпечення для ЦСП на рівні програмного коду на мові високого рівня Сі++, то на даний час найбільш доцільним є реалізація нейромереж на основі цифрових сигнальних процесорів. Виходячи з вартості та доступності останніх на ринку України, а також їх продуктивності та швидкодії, найбільш оптимальними є цифрові сигнальні процесори фірм Texas Instrument та Analog Device відповідно TMS320F2812 та ADSP 2199x. Особливу перевагу має TMS320F2812, враховуючи, що він має на кристалі Flash пам'ять об'ємом 128 кБайт, де може бути програмно реалізована нейромережа. Крім того, даний ЦСП містить 12-ти бітний 16-ти каналний АЦП з часом дискретизації від 80 нс, що дещо гірше, ніж в ADSP 2199x (відповідно 14-ти бітний АЦП з часом дискретизації 50 нс). До незаперечних переваг TMS320F2812, які суттєві при реалізації нейромереж, слід віднести швидко реакцію на довільні переривання (20-40 нс), 32-, 64- розрядні операції заповнення, одноциклові операції читання-модифікація-запис, операції ділення по модулю 64/32 і 32/32, ефективні засоби відлагодження з підтримкою С++, одно циклове множення 3232 з накопиченням, два послідовних комунікаційних інтерфейси, CAN-модуль, достатня кількість портів вводу-виводу, можливість зміни тактової частоти роботи процесора від 150 МГц і нижче, широкий температурний діапазон від -40 до +125 С. Основним недоліком ADSP 2199x є те, що код програми нейромережі записується та зберігається в оперативній пам'яті ззовні ЦСП і повинен зчитуватись кожного разу, коли починає працювати блок обробки інформації пристрою контролю, а це збільшує габарити, енергоспоживання, зменшує заводо захищеність та надійність роботи блоків обробки інформації на основі нейромереж.

Таким чином, набори значень інформаційних сигналів, що характеризують різні типи структури двофазових газорідних потоків, можна структурувати у вигляді баз даних двох типів по методу збереження та пошуку інформації: бази у вигляді таблиць, пошук в яких поєднується з інтерполяцією та бази у вигляді штучних нейронних мереж. Нейронні мережі забезпечують поряд з оптимальнішим алгоритмом пошуку інформації можливість їх адаптації шляхом навчання. Для практичної реалізації вказаної нейромережі в пристрої контролю потоку необхідна розробка та виготовлення на основі сучасної елементної бази та програмного

забезпечення пристрою обробки інформації. Цей пристрій на першому етапі містить типову нейромережову модель вказаної вище бази даних, а в процесі настройки пристрою (при фізичному моделювання в стендових або промислових умовах практично існуючих структур та витрат двофазових потоків із синхронною реєстрацією контрольованих параметрів цих потоків) її уточнення (навчання мережі) та адаптації до конкретних умов вимірювань сировинних потоків на нафтогазових промислах. На основі аналізу вихідних умов до розробки нейромережі пристрою контролю її створення є оптимальним на базі апаратного забезпечення цифрового сигнального процесора з електрично перепрограмованою пам'яттю команд та параметрами типу ЦСП TMS320F2812.

1. Чисхолм Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках: Пер. с англ. Пер. изд.: Великобритания, 1983. – М.: Недра, 1986. – 204 с.
2. Using Computational Fluid Dynamic (CFD) Simulation to Model Fluid Motion in Process Vessels on Fixed and Floating Platforms T.C. Frankiewicz, C-M. Lee, Natco Group - The theses of Annual Technical Conference and Exhibition 29 September - 2 October 2002 Henry B. Gonzalez Convention Center San Antonio, Texas U.S.A. p.35-38.
3. PPDS Support DeskTUV NEL Ltd East Kilbride GLASGOW G75 OQU Scotland. 2003.P.128.
4. Новоселов О.Н., Фомин А.Ф. Основы теории и расчета информационно-измерительных систем. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.
5. Analog Applications Journal, Texas Instruments, 08.2003, sly018. p.270.
6. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. — М.: Мир, 1992. – 234 с.
7. HIGH PERFORMANCE MULTIPHASE METERING - A PERSONAL PERSPECTIVE. Mr A.W. Jamieson, Shell U.K. Exploration and Production -Norflow seminar, 9th June 1999. –P.25-34.
8. TopFlow Multiphase Flowmeter. FMS EnergySystems. Journal of FMC Measurement Solutions. Huston, Texas.2003 y.,P.2-7.(www.fmcmeasurementsolutions.com)
9. Flowmeters for Fluids and Gases. New Generation Ultrasonic Flowmeter Technology for Enhanced Multiphase Flow Capability. Journal of GE Panametrics. General Electric Company 2003, P.36-40.
10. Evaluation Of New Technology for High Accuracy Multiphase Flow Measurement. Part 2 – Neural Networks, Project FDMU02. Report No 208/2001, National Engineering Laboratory, East Kilbride, Flow Measurement Guidance Note NO.27-28.2002.P.1-8.