

© 2000 р. В.О.Турченко

Інститут комп'ютерних інформаційних технологій,
Тернопільська академія народного господарства, Тернопіль

СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ КОНТРОЛЕР НЕЙРООБЧИСЛЕНЬ ДИСТРИБУТИВНОЇ МЕРЕЖІ ЗБОРУ І ОБРОБКИ СЕНСОРНИХ ДАНИХ

Розглянуто функції інтелектуального вузла, який забезпечує поточну обробку сигналів сенсорів у складі дистрибутивної мережі збору і обробки сенсорних даних. Для підвищення продуктивності інтелектуального вузла запропоновано до його складу включити додатковий контролер обчислення нейронних мереж. У даній статті розглянуто апаратне і програмне забезпечення дешевого варіанта такого контролера, наведені експериментальні результати його продуктивності при обчисленні однорівневого і багаторівневого перцептронів, рекурентної нейронної мережі.

The Intelligent Node's functions, which provide sensor data processing within Distributed Sensor Network, are analyzed in this paper. There is proposed to include additional Neuro-computation Controller into Intelligent Node structure for improvement of its productivity. The hardware and software of low-cost Neuro-computation Controller and experimental results of its productivity for calculation of single-layer, multi-layer perceptron and recurrent neural network are considered.

Основна задача дистрибутивної сенсорної мережі – збір і обробка даних від різномірних та різнотипних сенсорів. У більшості промислових системах збору і обробки сенсорних даних нормується похибка вихідного сигналу сенсора, а не фізичної величини. Наприклад, при використанні температурних сенсорів типу Pt100 фірми Honeywell [1] і блока збору даних Hydra 2625A фірми Fluke [2] співвідношення їх похибок більше п'ятдесяти. Надійне підвищення точності забезпечується періодичним звірянням сенсора по зразковому або його калібруванням за допомогою калібратора. Але ці методи досить трудомісткі. Зниження трудомісткості досягається прогнозуванням дрейфу сенсора у міжповірний (між-калібрувальний) інтервал. Для прогнозу доцільно застосувати методи штучного інтелекту, зокрема штучні нейронні мережі (НМ) [3]. Однак застосування НМ вимагає значних обчислювальних ресурсів. У [4] запропонована інтелектуальна дистрибутивна сенсорна мережа (ІДСМ), яка складається з трьох рівнів обробки сенсорних даних:

- Нижній рівень (модуль збору даних) здійснює перетворення сигналу сенсора у цифровий код і, у більшості випадків, примітивні обчислення (перетворення коду в код і т.д.). Алгоритми обробки, як правило, реалізовані апаратно або записані у постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) мікроконтролера цього модуля;

- Середній рівень (інтелектуальні вузли ІВ) реалізує більшість інтелектуальних функцій [4] по обробці сигналу сенсора;
- Верхній рівень (центральний комп'ютер ЦК) підтримує функціонування всіх елементів ІДСМ.

Особливістю запропонованої архітектури ІДСМ є передача ІВ функцій корекції похибок сенсорів шляхом постійного прогнозування поправок і обчислення залишкових похибок елементів каналу обробки сенсорних даних. При цьому навчання необхідних моделей НМ при побудові математичних моделей поправок і похибок, використовуючи результати перевірок або калібрувань, здійснюється на ЦК. На середній рівень передаються параметри й архітектура навчених НМ, індивідуально для кожного каналу збору сенсорних даних. Специфічні вимоги до вузлів середнього рівня обумовили необхідність спеціальної розробки ІВ [5], що дозволяє здійснювати постійну корекцію дрейфу сенсорів за допомогою НМ.

Проектування інтелектуального вузла

Вимоги до ІВ можна поділити на зовнішні і внутрішні. Зовнішні вимоги визначаються місцем вузлів у структурі ІДСМ і реалізуються такими процедурами: (i) підтримка набору каналів введення/виведення з різними протоколами обміну даних; (ii) обчислення попереднього зна-

чення фізичної величини, що відповідає сигналу сенсора; (iii) передача значень фізичних величин по запиту верхнього рівня; (iv) підтримка людино-машинного інтерфейсу. Внутрішні вимоги визначаються необхідними обчислювальними ресурсами для обробки сенсорних даних [6]. Відповідно до викладеного вище, на середньому рівні ІДСМ повинні виконуватися такі операції: (i) обчислення і зберігання значення фізичної величини; (ii) корекція похибки електричного тракту; (iii) корекція похибок впливаючих величин; (iv) корекція дрейфу кожного сенсора; (v) обчислення залишкової похибки електричного тракту; (vi) контроль терміну дії індивідуальних математичних моделей похибок і поправок.

Для виконання перерахованих зовнішніх і внутрішніх вимог необхідні значні обчислювальні ресурси і великий об'єм пам'яті. Однак використання промислових комп'ютерів на середньому рівні ІДСМ значно збільшує її вартість. У праці [5] запропонована можливість збільшення обчислювальних ресурсів ІВ за рахунок їх дистанційного перепрограмування у процесі функціонування, використовуючи мережний інтерфейс. Запропонований ІВ містить мікро-ЕОМ типу 89C51, регістр адреси, зовнішній оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) розміром до 64 Кб, схему керування (забезпечує переключення мікро-ЕОМ у режим запису програми в зовнішнє ОЗП при перепрограмуванні), адаптер інтерфейсу RS-232C (модифікований для роботи у двопровідній мережі "загальна шина"), схему формування переривань, регістри портів введення/виведення. Адресний простір ІВ розподілено між програмою (починається з нульової адреси) і даними. Схема переривання передбачає один вхід немаскованого переривання і вісім маскованих. Наявність регістрів портів введення/виведення з можливістю довільного програмування їх функцій дозволяє забезпечити інтерфейс із більшістю промислових модулів збору даних. Перепрограмування ІВ можливе як з ініціативи ЦК у довільний момент часу, так і з ініціативи самого ІВ при включенні, збої або закінченні терміну дії поправки.

Однак, як показав досвід розробки та експлуатації ІДСМ, при обробці великої кількості сигналів сенсорів однокристална мікро-ЕОМ не встигає у реальному масштабі часу (по відношенню до процесу збору даних) обчислювати всі поправки і поточну похибку кожного результату. Передача хоча б однієї з перерахованих функцій

ІВ центральному комп'ютеру ІДСМ змушує його працювати у масштабі часу ІВ, що неприпустимо у дистрибутивних системах. У [4] запропоновано на верхньому рівні ІДСМ апроксимувати математичні моделі похибок і поправок, які обчислюються ІВ, простими функціями, що дає додаткову похибку. Краще рішення – включення до складу ІВ додаткового спеціалізованого контролера (сопроцесора), який обчислює математичні моделі, базовані на НМ. Моделі лінійної НМ (однорівневий перцептрон) і нелінійної НМ (багаторівневий перцептрон і рекурентна нейронна мережа) детально розглянуті у [6,7,8]. Тому нижче розглянуто створення спеціалізованого контролера обчислення нейронних мереж (КОНМ).

Розробка спеціалізованого контролера обчислення нейронних мереж

Для істотного розвантаження інтелектуального вузла КОНМ повинен обчислювати такі поправки:

- 1 - корекції лінійності сенсора;
- 2 - корекції похибки каналу збору даних;
- 3 - корекції впливаючих величин;
- 4 - корекції дрейфу сенсорів.

Вказані процедури перераховані в порядку зростання обчислювальної складності і зниження вимог до часу їх виконання. Процедура 1 повинна виконуватися у масштабі часу аналого-цифрового перетворення. Періодичність виконання процедури 4 визначається швидкістю дрейфу сенсорів і практично складає 0,3-20 годин. Отже, ІВ вимагає від КОНМ не високої швидкості обчислень, а малої затримки при обміні даними. Тому використання як бази КОНМ спеціалізованого цифрового процесора обробки сигналів, наприклад, TMS320C4 [9] недоцільно – його собівартість на порядок вища від ІВ. Пропонується як базу КОНМ використати мікро-ЕОМ типу 89C51, аналогічну до наявної в ІВ. Це дозволяє знизити собівартість КОНМ також за рахунок уніфікації програмного забезпечення і засобів комунікації з ІВ.

Запропонований КОНМ (рис.1) складається з мікро-ЕОМ CPU типу 89C51, зовнішнього ОЗП RAM типу 62256 (розміром 32 Кб), регістра адреси RgA типу 74ALS573 і адаптера системної шини SBA (мінімальний варіант шини ISA). Схема під'єднання ОЗП до CPU – стандартна. Адаптер системної шини складається з вхідного і вихідного регістрів RgI і RgO, аналогічних RgA, схеми керування CC, схеми переривань IC і дешифратора адреси AddrDC.

Дослідження обчислювальних ресурсів контролера обчислення нейронних мереж

Для підпрограми однорівневого персептрона час обчислення і об'єм ОЗП залежить тільки від кількості його входів. Для багаторівневого персептрона і рекурентної НМ час обчислення і об'єм ОЗП для зберігання вагових коефіцієнтів і зміщень залежить як від кількості нейронів вхідного і схованого рівня, так і від функції активації нейронів схованого і вихідного рівнів. Експериментальні дослідження проведені в інтегрованому середовищі *µVision2 v.2.04 Keil Software Inc.*

Час обчислення однорівневого персептрона і розмір ОЗП при зміні кількості входів від 4-х до 10-ти наведені у таблиці 1. Очевидно, що обчислення однорівневого персептрона, КОНМ потребує незначних обчислювальних ресурсів.

Залежності часу обчислення багаторівневого персептрона і часу обчислення рекурентної НМ при зміні кількості нейронів вхідного і схованого рівня від 4-х до 10-ти наведені на рис.3. Максимальний час для багаторівневого персептрона з 10 вхідними і 10 схованими нейронами становить 64,1 мс, а для рекурентної НМ – 98,4 мс. Розмір ОЗП для багаторівневого персептрона і рекурентної НМ при зміні кількості нейронів вхідного і схованого рівня від 4-х до 10-ти наведені у таблиці 2. Для багаторівневого персептрона з 10 вхідними і 10 схованими нейронами цей розмір становить 572 байти, для рекурентної НМ – 1056 байт. Як видно, необхідні обчислювальні ресурси при переході від однорівневого персептрона до багаторівневих зростають більш як в 100 разів для часу обчислення і в 10-20 разів для розміру ОЗП. Тому доцільно процедури 1-4, перелічені у розділі 2, реалізувати по можливості як однорівневі персептрони. Якщо однорівневий персептрон не дає бажаного результату, то потрібно використовувати багаторівневі персептрони з мінімальною кількістю нейронів.

Висновки

Розроблений контролер обчислення нейронних мереж виконує найбільш трудомісткі процедури корекції, базовані на апараті штучних нейронних мереж у реальному часі по відношенню до процесу збору даних, і має малий час взаємодії з інтелектуальним вузлом дистрибутивної мережі збору і обробки сенсорних даних. Це дозволяє використати його в інтелектуальних системах обробки сенсорних даних [4, 10], головна мета яких забезпечити високу точність отримання значень фізичних величин.

Таблиця 1. Час обчислення і розмір ОЗП для підпрограми однорівневого персептрона.

Кількість входів	4	5	6	7	8	9	10
Час виконання, мкс	260	320	380	440	500	560	620
Розмір ОЗП, байт	43	47	51	55	59	63	67

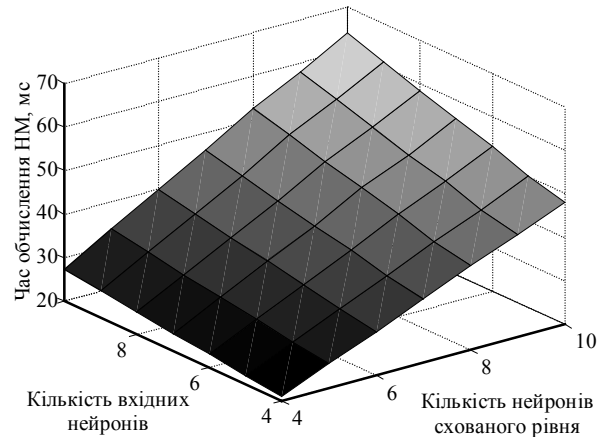


Рис.3. Залежність часу обчислення багаторівневого персептрона від кількості нейронів вхідного і схованого рівнів.

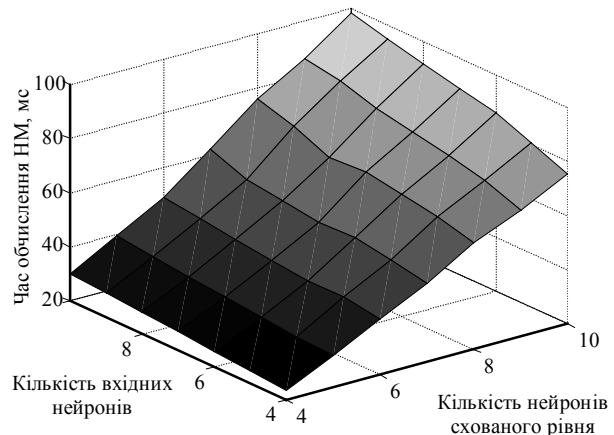


Рис.4. Залежність часу обчислення рекурентної НМ від кількості нейронів вхідного і схованого рівнів.

Таблиця 2. Розмір ОЗП для багаторівневого персептрона і рекурентної НМ.

Кількість нейронів:	4	5	6	7	8	9	10
вхідних	4	5	6	7	8	9	10
схованих рівнів							
Багаторівневий персептрон, байт	140	192	252	320	396	480	572
Рекурентна НМ, байт	240	336	448	576	720	880	1056

Автор висловлює подяку за підтримку Європейській організації ІНТАС, реєстраційний номер проекту *INTAS-OPEN-97-0606*.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Temperature sensors: Platinum RTDs // Honeywell Products Catalog. - MICROSWITCH Sensing and Control. - 1998. - P.93-94.
2. Fluke Data Acquisition: Portable, Wireless, Networked. - Fluke Corporation, 1997.
3. *Alippi C., Ferrero A., Piuri V.* Artificial Intelligence for Instruments and Applications // IEEE Instrumentation and Measurement Magazine. - June 1998. - P.9-17.
4. *Sachenko A., Kochan V., Turchenko V.* Intelligent Distributed Sensor Network // Proceedings of 15th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC/98). - St. Paul, USA, 1998. - P.60-66.
5. *Sachenko A., Kochan V., Turchenko V., Tymchyshyn V., Vasylykiv N.* Intelligent Nodes for Distributed Sensor Network // Proceedings 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC/99). - Venice, Italy, 1999. - P.1479-1484.
6. *Golovko V., Grandinetti L., Kochan V., Laopoulos T., Sachenko A., Turchenko V.* Sensor Signal Processing Using Neural Networks // Proceedings of IEEE Region 8 International Conference Africon'99. - Cape Town, South Africa, 1999. - P. 339-344.
7. *Golovko V., Savitsky J., Sachenko A., Kochan V., Turchenko V., Laopoulos T., Grandinetti L.* Intelligent System for Prediction of Sensor Drift // Proceedings of International Conf. Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'99). - Brest, Belarus, 1999. - P.126-135.
8. *Sachenko A., Kochan V., Turchenko V., Golovko V., Savitsky J., Dunets A., Laopoulos T.* Sensor Errors Prediction Using Neural Networks. Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'2000). - Como, Italy, 2000. - Vol. IV. - P.441-446.
9. TMS 320 DSP. "Development Support Reference Guide" // Texas Instruments. - 1997.
10. *Golovko V., Grandinetti L., Kochan V., Laopoulos T., Sachenko A., Turchenko V., Tymchyshyn V.* Approach of an Intelligent Sensing Instrumentation Structure Development // Proceedings IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing (WISP'99). - Budapest, Hungary, 1999. - P.336-341.