

СИГНАЛЬНІ ПРОЦЕСОРИ В ОПТИМАЛЬНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

Вступ

Забезпечення високих параметрів електротехнічних і електротехнологічних комплексів неможливе без їхньої широкої автоматизації, використання *оптимальних* систем автоматичного керування (САК) і регулювання. Слід зазначити серйозні досягнення в області *теорії* таких систем. Однак *практична реалізація* оптимальних регуляторів, що вбудовуються в устаткування, стримується обмеженими можливостями застосовуваної елементної бази з погляду підтримки складних математично насичених алгоритмів у *реальному часі*.

Традиційною основою побудови САК є однокристалні мікроконтролери [1]. При створенні оптимальних регуляторів розроблювач спирається на найбільш критичну характеристику мікропроцесорних засобів – *продуктивність*. Незважаючи на істотне поліпшення таких кількісних параметрів, як тактова частота, тривалість командного циклу, кількість операцій за секунду і т.д. [2], проблема швидкодії керування зберігає актуальність через невідповідність архітектури вимогам теорії оптимальних систем.

Під час рішення задач цифрової обробки сигналів (телекомунікації, радіотехніка, розпізнавання) широке застосування знаходять *сигнальні мікропроцесори* (СМП). Архітектурні особливості СМП привабливі для їхнього використання в якості оптимальних цифрових регуляторів. Метою даної статті є аналіз можливостей застосування сигнальних мікропроцесорів в оптимальних системах керування електронними системами.

Вимоги до оптимального регулятора

Ефективна робота електротехнічних і електротехнологічних установок і систем у різних галузях господарства вимагає дослідження можливостей поліпшення характеристик подібних виробів і створення відповідних методів їхнього інженерного проектування. Предметами дослідження можуть бути електромеханічні системи, електромеханотронні системи, електротехнологічні комплекси, електрофізичні установки, системи електрозабезпечення, автономні системи електроживлення.

Питання побудови оптимальних САК є центральним у сучасній теорії

автоматичного керування (ТАК). Задачі оптимізації й адаптації ставилися і вирішувалися в рамках класичної ТАК ще до початку 60-х років ХХ століття. Однак при цьому досягалася оптимізація в «малому», тобто виконання заздалегідь розробленої програми, стабілізація програмного руху шляхом рішення безлічі часткових задач на кожному етапі або режимі технологічного процесу. Досягнення кінцевої мети керування в цьому випадку виробляється в *стадії проектування* на основі апіорної інформації за допомогою методів, зовнішніх стосовно даної теорії [3].

Основи сучасного підходу в ТАК закладені у відомих роботах Л.С.Понтрягина і його школи, а також Р.Беллмана і Р.Калмана. Найважливішою вимогою є оптимальне використання на кожному етапі або режимі функціонування системи всіх розташовуваних ресурсів (енергетичних, інформаційних, обчислювальних і ін.) для досягнення головної для цього етапу мети при дотриманні безлічі обмежень. Фундаментальна проблема оптимізації в «великому» у реальному часі процесу керування породжує ряд серйозних задач і методів їхнього рішення.

1. Використання всієї апіорної інформації про керований процес або об'єкт у вигляді *математичної моделі* не тільки на стадії проектування, але й у процесі функціонування системи.

2. Оптимальне оцінювання параметрів по експериментальним даним, тобто *ідентифікація*, зокрема – параметрична, здійснювана в реальному часі в експлуатаційних режимах.

3. Власне *оптимальне керування* рухом «у великому»: формування алгоритмів оптимального досягнення більш важливої узагальненої кінцевої мети на кожному етапі функціонування системи.

Використовуючи досягнення математичної ТАК, при створенні практичної САК необхідно враховувати два роди *обмежень*, характерних для реальних систем.

1. *Інформаційні*. Кінцевий обсяг апіорної і поточної інформації про керований процес (у тому числі, – і у відношенні статистичних характеристик), а також кінцева обчислювальна продуктивність.

2. *Енергетичні*. Облік енергетики керованого процесу і мінімізація потужності керуючих впливів.

Таким чином, рішення актуальної наукової проблеми створення високоефективного електротехнічного комплексу може бути розглянуте через площину проблематики сучасної ТАК, якщо сформульовані моделі окремих вузлів цього комплексу, як ланок САК, які вирішують конкретну задачу.

Прикладом подібного комплексу може служити система точного позиціонування [4]. Передатна функція оптимального цифрового регулятора може бути представлена у вигляді:

$$D(z) = \frac{K_0 \varepsilon(0^+) + K_1 \varepsilon(h^+) z^{-1} + K_2 \varepsilon(2h^+) z^{-2}}{\varepsilon(0^+) + \varepsilon(h^+) z^{-1} + \varepsilon(2h^+) z^{-2}} = K_0 \frac{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}, \quad (1)$$

де K_0, K_1, K_2 – коефіцієнти передачі регулятора на трьох кроках дискретизації;

$\varepsilon(0^+), \varepsilon(h^+), \varepsilon(2h^+)$ – сигнали на вході регулятора при замиканні імпульсного елемента на трьох кроках дискретизації.

Коефіцієнти передатної функції регулятора можуть бути визначені, виходячи з параметрів об'єкта керування, а також кроку дискретизації h . Переходячи в область решіткових функцій, одержуємо сигнал на виході цифрового регулятора:

$$u[n] = K_0 \varepsilon[n] + K_0 b_1 \varepsilon[n-1] + K_0 b_2 \varepsilon[n-2] - a_1 u[n-1] - a_2 u[n-2]. \quad (2)$$

Останній вираз дозволяє скласти алгоритм роботи системи, а також програму для мікропроцесора.

Розглянутий приклад побудови оптимального регулятора для об'єкта керування третього порядку можна поширити на широке коло інших об'єктів. Загальний вираз, що описує роботу оптимального регулятора зводиться до вигляду:

$$y(t) = \sum_{m=0}^M a(m) y(t-m) + \sum_{n=0}^N b(n) x(t-n). \quad (3)$$

Тобто будь-який регулятор можна подати у вигляді рекурсивного фільтра. Звідси виходить можливість застосування методів цифрової фільтрації (як теоретичних, так і практичних) при побудові систем керування.

Мікроконтролери або сигнальні мікропроцесори

Основними перевагами використання мікроконтролерів у цифрових системах керування електротехнічними комплексами є виключення дрейфу і необхідності регулярного настроювання, оскільки більшість функцій виконується в цифровій формі; простота оновлення системи за рахунок зміни тільки лише програмного забезпечення; скорочення кількості компонентів системи за рахунок ряду реалізованих на кристалі самого мікроконтролера функцій.

Хоча традиційні мікроконтролери містять необхідні периферійні пристрої підтримки цифрового керування, ефективність їхньої архітектури недостатньо відповідає вимогам виконання просунутих математично-інтенсивних оптимальних алгоритмів керування в широкій смузі і реальному часі. Мікроконтролери гарні для систем, до яких не висуваються високі вимоги щодо швидкодії або точності.

Використання СМП забезпечує ті ж переваги, що і мікроконтролери,

однак можливе одержання більш високої швидкості, точності, а також виконання математично-інтенсивних алгоритмів за низької вартості системи. Висока швидкість забезпечується, в основному, Гарвардською архітектурою з подвійною шиною, а також ефективними командами множення з накопиченням, які дозволяють реалізовувати за один такт один з доданків виразу (3). Одна шина використовується для даних, а інша – для команд програми. Це скорочує час, тому що обидві шини використовуються одночасно. СМП-контролери дозволяють реалізувати складні алгоритми в реальному часі, а також бездатчикове керування. У сумі це оптимізує апаратне забезпечення розробки, скорочує вартість системи.

Додаткові переваги систем керування, заснованих на СМП:

- режекторні фільтри із крутим зрізом, що дозволяють усунути вузькополосні механічні резонанси і забезпечити усталену роботу системи;
- діагностичний контроль, що досягається спектральним аналізом за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). За рахунок спостереження частотного спектра механічних коливань можна передбачити відмови системи на ранніх стадіях;
- адаптивне керування. Наприклад, для настроювання режекторних фільтрів можуть використовуватися дані ШПФ. Це дозволяє простежити й усунути коливальні режими, що змінюються зі швидкістю системи, маючи, балансування або іншими параметрами;
- високорівневі алгоритми для зменшення пульсацій моменту, що знижує вібрації і продовжує термін служби виробу;
- придушення гармонік за рахунок розширених алгоритмів, що дозволяє знизити вимоги і зменшити вартість фільтрів;
- виключення датчиків швидкості або положення за допомогою реалізації бездатчикових алгоритмів;
- скорочення кількості пошукових таблиць, що зменшує необхідний обсяг пам'яті;
- генерація в реальному часі гладких квазіоптимальних опорних сигналів і траєкторій переміщення, що підвищує ефективність;
- керування імпульсними перетворювачами напруги і генерація ШИМ-сигналів з високою розподільною здатністю.

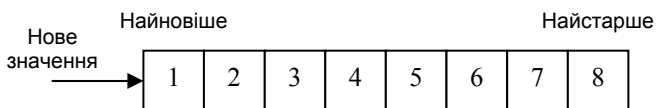
Використання буфера на СМП

У замкнених системах керування часто доводиться зчитувати значення з датчика зворотного зв'язку (наприклад, АЦП) через рівні інтервали часу і зберігати їх у пам'яті даних. Для збереження останнього виміру і ряду попередніх значень зазвичай використовується буфер. Буфер – це

область пам'яті даних, використовуваних для збереження отриманих даних, або даних, що підлягають передачі.

Можливий спосіб використання буфера для збереження результатів виміру полягає в тому, щоб помістити найновіший вимір в один кінець буфера, а найстаріший – в інший. Наприклад, можна використовувати `buffer[0]` для збереження останньої вибірки і `buffer[7]` – самої старої. Щоб увести новий вимір у буфер, відкинемо самий старий результат читання даних, а потім переставимо всі значення на одне місце. Наприклад, `buffer[6]` переміститься в `buffer[7]`. Цей процес показаний на рисунку 1, де прийнято, що буфер уже містить 1,2,3,...,7,8.

До переміщення даних



Після переміщення даних

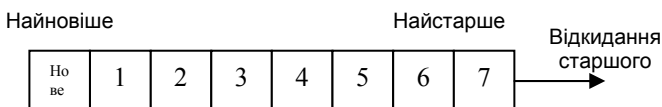


Рисунок 1 – Збереження значень у буфері

При реалізації фільтра з кінцевою імпульсною характеристикою (КИХ – FIR) потрібне множення ряду вхідних значень на ряд констант. Нижче представлений фрагмент програми мовою Ассемблер СМП TMS320F24x, що використовує високопаралельні команди множення з накопиченням і перестановки елементів буфера (MPY та LTD).

Приклад 1.

```

st:   LACC #0           ; Очищення акумулятора.
      LAR AR2, #N       ; Лічильник циклу.
      LAR AR0, #arr+7   ; Указати на останній вхід.
      LAR AR1, #con+7   ; Указати на останню
                          ; константу.
      MAR *, AR0        ; Зробити AR0 поточним
                          ; додатковим регістром.
      LT *-, AR1        ; Завантажити buffer[7].
      MPY *-, AR0       ; Помножити на константу.
  
```

lp: LTD *-, AR1 ; Додати попередній добуток
; до акумулятора, завантажити
; реєстр T і скопіювати дані
; в наступну комірку пам'яті.
MPY *-, AR2 ; Помножити на константу.
BANZ *lp*, *-, AR0 ; Перевірити AR2 на нуль і,
; якщо не так – розгалуження
; до мітки *lp*. Якщо нуль –
; виконати наступну команду.
; Декремент AR2. Зробити AR0
; поточн. додатков. реєстром.
APAC ; Нагромадити кінцеве знач-ня.

Реалізація ідентичної функції на універсальному мікроконтролері [2] вимагає значно більше команд і більше тактів опорного генератора, тобто виконується істотно повільніше.

Висновки

1. Сформульовано фундаментальні проблеми оптимізації в «великому» у реальному часі процесу керування, а також обмеження, характерні для реальних систем.

2. На прикладі системи точного позиціонування наведено загальний вираз, що описує роботу оптимального регулятора та збігається з алгоритмом цифрового рекурсивного фільтра.

3. Показано переваги застосування сигнальних мікропроцесорів в оптимальних системах керування високоефективними електротехнічними комплексами.

4. Наведено приклад застосування команд високопаралельної обробки даних в програмі системи керування на базі СМП.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.П.Войтенко. Мікроконтролери для пристроїв промислової електроніки// Вісн. Чернігівського державного технологічного університету, 2001. – № 13. – С. 130 – 134.
2. В.П.Войтенко. Архитектура и резидентные аппаратные средства микроконтроллеров Atmel AVR®. – Чернигов: Красавцев, 2002. – 132 с.
3. Справочник по теории автоматического управления/ Под ред. А.А.Красовского. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. –712 с.
4. О.І. Денисов, В.П. Войтенко. Синтез цифрового регулятора для системи позиціонування магнітних голівок// Вісн. Чернігівського державного технол. університету, 1999. – №9.– С. 179 – 184.