

# АНТЕНИ ТА ПРИСТРОЇ НІЧ

УДК 624.941

С.Ю. Спіченко

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра телекомунікацій

## ПОБУДОВА ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ АКУСТИЧНОЇ ЛОКАЦІЇ

© Спіченко С.Ю., 2006

**Запропоновано побудову апаратних високопродуктивних обчислювальних модулів для багатоканальних спеціалізованих систем локації джерел акустичних сигналів. Наведено можливість комплексного використання під час побудови цих модулів як швидкодіючих спеціалізованих процесорів цифрової обробки сигналів, так і сучасних високопродуктивних програмованих логічних інтегральних схем для обробки сигналів у форматі акселераторів цифрової обробки сигналів.**

**The structure of high-performance computing hardware module for multi-channel specialized system of acoustic location is proposed. Shown is the possibility of complex usage of high-speed specialized digital signal processors as well as up-to-date high-performance field programmable gate arrays in building of such modules for processing of signals in form of digital signal processing accelerators.**

### Вступ

За рахунок значного розширення технічних можливостей обчислювальної техніки в розпорядженні дослідників з'явилися нові засоби, які дають змогу здійснювати практичну реалізацію та впровадження широкого спектра алгоритмів обробки сигналів. У зв'язку з цим впродовж останнього часу відбулося значне підвищення зацікавленості до задач визначення просторових координат джерел акустичних сигналів (акустичної локації). Ці завдання розв'язували як теоретично, так і реалізовували практично протягом тривалого часу, однак інтерес до цих завдань посилювався завдяки новим технічними можливостями розв'язання цих задач в реальному масштабі часу.

Введення в склад спеціалізованих комп'ютерних систем акустичної локації (СКСАЛ) апаратних акселераторів цифрової обробки сигналів (ЦОС) – апаратних високопродуктивних обчислювальних модулів (АВОМ), побудованих на базі сучасних швидкодіючих процесорів цифрової обробки сигналів (ПЦОС) та програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) дає можливість значно збільшити обчислювальні потужності систем та надає можливість роботи системи в реальному масштабі часу, що розширює їх функціональні можливості та галузі застосування. Серед публікацій на цю тему важливо виділити [1–3].

**Метою статті** є наведення та обґрунтування структури побудови АВОМ на базі ПЛІС та ПЦОС для спеціалізованих систем акустичної локації.

### Спеціалізована комп'ютерна система акустичної локації

Основними компонентами СКСА є антенна решітка з акустичними мікрофонами, модулі обробки інформації (аналогові: попереднє підсилення, смугова фільтрація, аналого-цифрове перетворення сигналів; цифрові: цифрова фільтрація, кореляційний аналіз, синфазне підсумовування, перетворення та згортання сигналів, швидке перетворення Фур'є, накопичення результатів обробки), модулі ОЗП та ПЗП (зберігання цифрових значень вхідних сигналів, проміжних

результатів обробки, оперативних даних для обміну між АВОМ, таблиць перерахунку, таблиць коефіцієнтів), модулі керування, комутації, інтерфейси обміну даними та електронна обчислювальна машина – персональний комп’ютер (вторинна обробка інформації, обробка накопичених результатів, визначення просторових координат джерел, візуалізація, структурування та зберігання отриманої інформації) [4,5]. Структурна схема спеціалізованої системи акустичної локації з використанням декількох АВОМ показана на рис. 1.



Рис. 1. Структура спеціалізованої комп’ютерної системи акустичної локації з використанням апаратних високопродуктивних обчислювальних модулів

Електричні аналогові сигнали, які відповідають зареєстрованим в навколишньому середовищі акустичним сигналам, від напрямлених (ненапрямлених) вимірювальних мікрофонів, розташованих на антенній решітці, надходять на вхід спеціалізованої комп’ютерної системи локації. Отримана системою аналогова інформація у вхідному аналоговому тракту, пройшовши попередню аналогову обробку (в склад якої входить підсилення та смугова фільтрація), перетворюється у цифрову форму для подальшої обробки в складі системи. Такого типу попередню обробку можна здійснювати з однаковим настроюванням підсилення сигналів і смуги пропускання, чи для кожного із мікрофонних каналів індивідуально.

Отримані дані з модуля вхідного аналогового тракту з каналами аналого-цифрового перетворення (АЦП) у цифровій формі надходять до кожного обчислювального модуля, де і здійснюється основна і найресурсніша затратна частина обробки. Під час побудови системи локації передбачена можливість подавання аналогових сигналів після попередньої обробки на входи АВОМ в разі використання у ньому додаткових окремих блоків аналого-цифрового перетворення. Кожен з модулів може взаємно обмінюватися інформацією один з одним для виконання операцій обміну чи зіставлення проміжних результатів. Докладніше структура АВОМ описана нижче у відповідному розділі цієї статті. Кількість АВОМ в системі локації залежить переважно від кількості вхідних сигналів (кількості мікрофонів) у співвідношенні один модуль на чотири канали.

Додаткова обробка даних, а також обмін з ЕОМ керуючою інформацією і передача результатів до ЕОМ здійснюються основним модулем керування і комунікації, який будується на базі процесора цифрової обробки сигналів. Цей модуль здійснює загальне керування перебігом обчислювального процесу в обчислювальних модулях і, в разі готовності результатів обробки у них, виконує завершальну обробку і передає результати до ЕОМ за допомогою універсальної

послідовної шини (USB), використовуючи периферійний контролер шини. Для обробки і зберігання даних "сигнальний" процесор використовує загальну основну та постійну швидкодіючу пам'ять системи. Організація загальної пам'яті може бути як стандартна, так і спеціалізована (дво-, чотири-портова).

### **Особливості побудови апаратного високопродуктивного обчислювального модуля спеціалізованої комп'ютерної системи акустичної локації**

Традиційно розробники під час побудови обчислювальних модулів вибирали ПЦОС (процесори DSP Digital Signal Processing). Перевага ПЦОС, які мають стандартну архітектуру, у тому, що вони гнучкі у застосуванні і їх можна використовувати для виконання фільтрації, згортки, кореляції або перетворення Фур'є, при цьому змінюється тільки програмний код процесора. Однак їхня гнучкість, в остаточному рахунку, і обмежує їхню системну ефективність. Історично ПЦОС мали тільки один помножувач, однак сьогодні деякі з них мають до 8 помножувачів. Для обчислення результату звичайно використовується ітераційне обчислення, що складається з 2–8 операцій множення, на які витрачається відповідна кількість циклів виконання. Тому процесори ЦОС найбільше підходять для обробки сигналів у системах із середньою та низькою продуктивністю. Багато процесорів ЦОС мають помножувачі зі спеціальними командами, що прискорюють математичні обчислення, однак і вони не завжди дають змогу виконувати обчислення в реальному масштабі часу.

З метою підвищення обчислювальної потужності АВОМ запропоновано комплексне використання ПЦОС та ПЛІС, де ПЦОС виступає більше як керуючий процесор з можливістю проведення додаткової обробки даних.

Використання ПЛІС як основних елементів цифрової обробки сигналів стало в останні роки перспективним і оптимальним рішенням під час розробки пристроїв та систем цифрової обробки сигналів, зокрема спеціалізованих систем локації. Це дає змогу зменшити габарити, вагу і вартість систем ЦОС порівняно з еквівалентними за обчислювальною продуктивністю багатопроцесорними реалізаціями [3].

Відмітимо дві основні особливості ПЛІС сімейства Stratix II фірми Altera, які якнайкраще пристосовані для реалізації множення, згортки, перетворення Фур'є, визначення авто- та взаємкореляційних функцій:

1. Програмовані блоки ЦОС (блоки DSP) у ПЛІС сімейства Stratix II – це швидкодіючі вбудовані арифметичні блоки, які оптимізовані для виконання широкого спектра арифметичних обчислень. Такі блоки особливо необхідні для тих застосувань, що вимагають високої продуктивності під час цифрової обробки сигналів. Блоки ЦОС можуть здійснювати ряд типових функцій ЦОС, як, наприклад, фільтр із скінченною імпульсною характеристикою, функцію швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) тощо.

Мікросхеми цього сімейства засновані на 1,5В, 0,13мкм технології зі щільністю до 114 тис. логічних елементів і до 10Мбіт оперативної пам'яті на кристалі. На кристалі також розміщується до 28 блоків ЦОС з кількістю до 224 (9 x 9 бітів) помножувачів, пристосованих для завдань ЦОС (кореляція (взаємкореляція), згортка, цифрова фільтрація, швидке перетворення Фур'є).

Блоки ЦОС значно підвищують ефективність виконання функцій, що вимагають великого обсягу арифметичних обчислень. При цьому не витрачаються інші ресурси кристала мікросхеми, наприклад логічні комірки. Застосування блоків ЦОС для здійснення обчислювальних операцій дозволяє одержати високопродуктивну систему. Ці блоки ПЛІС сімейства Stratix II складаються з апаратних помножувачів, суматорів-акумуляторів, акумуляторів і регістрового конвеєра. Вони можуть працювати на частотах до 250 МГц, забезпечуючи при цьому ефективну продуктивність до 2,0 GMAC/с на блок. Пристрій, що має до 28 блоків ЦОС, може забезпечити сумарну продуктивність, що більш ніж в 10 разів перевищує продуктивність, яку можуть мати сьогодні передові "сигнальні" процесори - ПЦОС. Оскільки блоки DSP у пристроях Stratix II розташовані в окремо виділеній схемі, вони можуть розвивати максимальну продуктивність при максимальній тактовій частоті.

2. На додаток до пам'яті TriMatrix (загально використовуваної), розташованої на кристалі, ПЛІС Stratix, забезпечена підтримка зовнішніх інтерфейсів пам'яті для зв'язку з додатковою пам'яттю даних, розташованою поза кристалом, задовольняючи при цьому усі часові вимоги, які зростають із збільшенням смуги пропускання пам'яті. Ця організація пам'яті дозволяє під'єднати ПЛІС Stratix II до широкого діапазону мікросхем пам'яті останнього покоління, як SRAM, так і DRAM.

### Структура високопродуктивного обчислювального модуля з використанням ПЦОС та ПЛІС

Апаратний високопродуктивний обчислювальний модуль системи може приймати на вхід дані в цифровій формі, а також здійснювати власне аналого-цифрове перетворення вхідних аналогових сигналів у разі використання індивідуальних для модуля параметрів перетворення. Цифрові вхідні дані накопичуються у блоках ОЗП даних під керуванням ПЛІС. Основна обробка отриманих даних здійснюється в складі логічної структури ПЛІС із використанням блоків пам'яті модуля для зберігання проміжних результатів.

Керування процесом обчислення апаратного модуля та процесом обміну даними з системою верхнього рівня (основним модулем керування і комунікації, ОЗП та ПЗП системи, контролером USB), а також аналогічними модулями здійснюється модулем керування і комунікації, побудованим на основі ПЦОС. На цей блок також може бути покладена частина завершальних обчислень, які не вимагають високої швидкодії і можуть бути рознесені в часі між виконанням операцій обміну даними. Обмін даними між цим модулем та ПЛІС здійснюється за допомогою блоків ОЗП та ПЗП ПЦОС, ПЗП даних ПЛІС, де можуть зберігатися табличні та наперед визначені дані чи коефіцієнти великого обсягу, які беруть участь у розрахунках. Керування роботою ПЛІС модулем керування та комунікації можна здійснювати як через модуль обміну даними, так і частково через модуль конфігурування ПЛІС. Обмін інформацією з верхнім рівнем, а також з аналогічними модулями, здійснюється за допомогою модуля обміну даними, який може бути заснований як на відповідно сконфігурованій окремій ПЛІС, так і на різного типу спеціалізованих контролерах обміну.

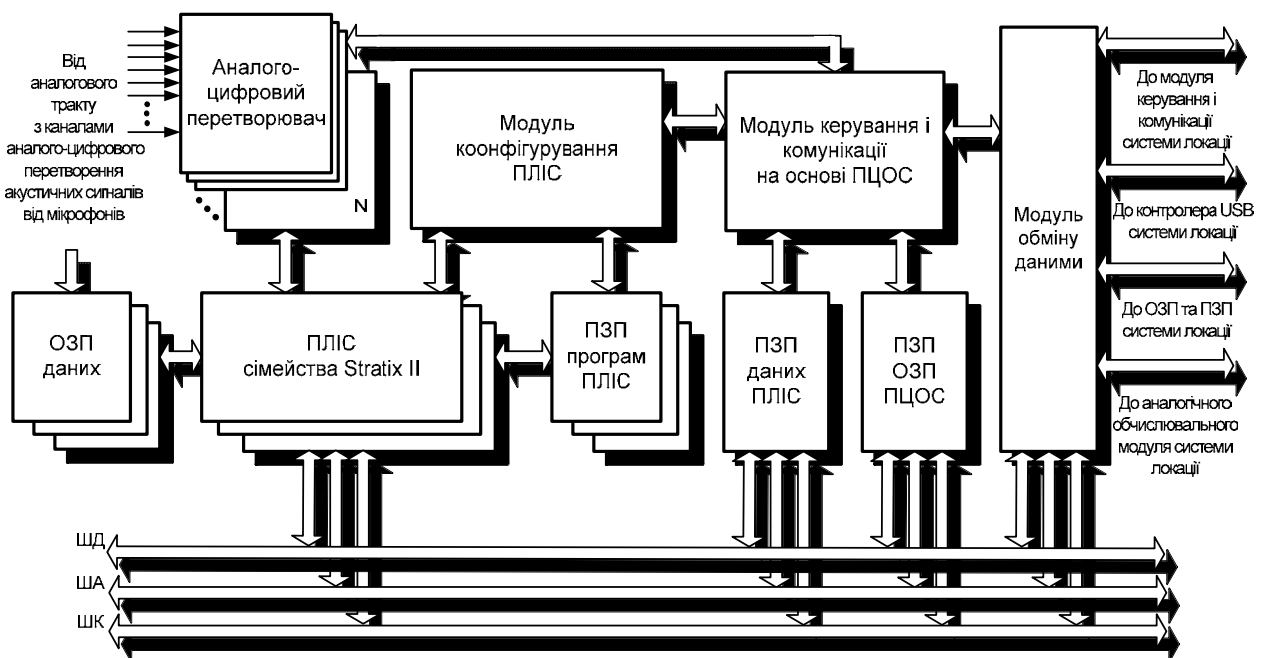


Рис. 2. Структура апаратного високопродуктивного обчислювального модуля спеціалізованої комп'ютерної системи акустичної локації

Для забезпечення гнучкості та збільшення ефективності в склад модуля входить блок конфігурування ПЛІС з відповідними блоками конфігураційної пам'яті. У цих блоках пам'яті містяться дані логічної конфігурації ПЛІС, які можна завантажувати в ПЛІС не тільки в час початкового включення системи, а і під час роботи, для зміни акценту на виконання певного типу арифметично-логічних операцій. При цьому проміжні дані обчислень зберігаються в блоках пам'яті апаратного модуля. Керування цим процесом також здійснюється блоком керування і обміну даними.

Отже, запропонована архітектура АВОМ дає змогу ефективно використовувати апаратну логіку ПЛІС та обчислювальні ресурси ПЦОС, має властивість переконфігурування і змінювання наборів алгоритмів цифрової обробки сигналів залежно від індивідуального обчислювального завдання, для забезпечення високої продуктивності і гнучкості системи.

### Висновки

1. Використання в сучасних багатоканальних СКСАЛ апаратних акселераторів ЦОС дає змогу суттєво покращити основні прикладні та функціональні характеристики таких систем.

2. Комплексне використання під час побудови АВОМ сучасних швидкодіючих ПЦОС та ПЛІС надає можливість паралельної і послідовної обробки сигналів як у форматі з рухомою комою, так і у цілочисловому форматі.

3. За рахунок використання у складі АВОМ ПЛІС та ПЦОС програми (алгоритми), функціонування яких змінюються програмним шляхом (перепрограмуванням), з'являються широкі можливості вдосконалення існуючих та розробки нових алгоритмів обробки сигналів, зокрема алгоритмів акустичної локації.

Розвиток результатів статті можливий в напрямі вибору нових конфігурацій структури АВОМ спеціалізованих комп'ютерних систем локації, вдосконалення алгоритмів локації, а також побудови ефективніших алгоритмів попередньої та вторинної обробки інформації від джерел акустичних сигналів.

1. Bielawski K., Petrovsky A.I.A. *Dynamic non-uniform filter bank constructing algorithms for reconfigurable speech processing system based on the FPGA-device and TMS320C31* // *The 3rd European DSP education and research conference. France. 20–21 Sept. 2004.* 8 p. 2. Beuchat J.-L., Muller J.-M. *Modulo M multiplication-addition: algorithms and FPGA implementation*// *ELECTRONICS LETTERS 27th May 2005 Vol. 40 No. 11.* 3. Стешенко В. ПЛІС фірми ALTERA: проектування устроїв обробки сигналів. – М.: Додіка, 2000. – 128 с. 4. Спіченков С.Ю., Романишин Ю.М., Гоць В.І., Парамуд Я.С. Спеціалізована комп'ютерна система локації джерела акустичних сигналів // *Вісник НУ "Львівська політехніка". "Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика". – 2004. – №522. – С. 24–27.* 5. Спіченков С.Ю. Методика обробки хвильових полів у реальному масштабі часу та алгоритми її реалізації // *Вісник НУ "Львівська політехніка". "Комп'ютерні системи та мережі". – 2005. – №546. – С. 139–146.*