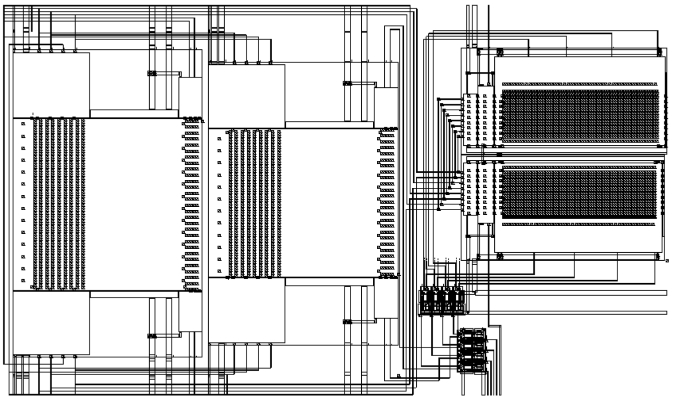

Рис. 3. Пример топологии схемы из ПЛМ, РМОП-схем и логических элементов (без отображения топологии внутренних составляющих макроэлементов)

Список литературы

1. *Бибило, П.Н.* Система CLTT проектирования топологии функциональных блоков заказных цифровых СБИС / П.Н. Бибило, И.П. Логинова, В.И. Романов, Л.Д. Черемисинова // Информационные технологии. – 2011. – № 1. – С.8–14.

УДК 004.383

CORDIC АЛГОРИТМ В УМНОЖИТЕЛЯХ КВАТЕРНИОНОВ

Н.А. ПЕТРОВСКИЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул .П. Бровки 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
nick@petrovsky.eu

Предлагаются различные варианты структур умножителя кватернионов – базового элемента алгоритмов цифровой обработки сигналов на основе алгебры кватернионов, с использованием CORDIC алгоритма. Рассматриваются преимущества и недостатки различных схемотехнических решений.

Ключевые слова: умножитель кватернионов, 2D CORDIC, 4D CORDIC.

Алгебра кватернионов H является ассоциативной некоммутативной четырёхмерной алгеброй $\mathbf{H} = \{\mathbf{q} = q_1 + q_2 i + q_3 j + q_4 k \mid q_1, q_2, q_3, q_4 \in \square\}$, где ортогональные мнимые части подчиняются следующим законам умножения: $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$, $ij = -ji = k$, $jk = -kj = i$, $ki = -ik = j$. В цифровой обработке сигналов данная алгебра рассматривается как новая парадигма: 3-х и 4-х мерные сигналы могут представляться как одномерные, что упрощает обработку и моделирование сигналов. Во многих приложениях, как например, в параунитарных банках фильтров (ПУБФ), операция умножения кватерниона переменной **x** на кватернион константу **q** играет доминирующую роль. Оба операнда нормированные кватернионы, т.е. $\|\mathbf{q}\| \le 0$. При этом, стоит задача уменьшить число действительных умножений. Существует две матрицы умножения кватернионов справа $\mathbf{M}^{-}(q)$ и слева $\mathbf{M}^{+}(q)$, связанные следующими соотношениями $\mathbf{M}^{\mp}(q) = \mathbf{D}_C \mathbf{M}^{\pm}(\overline{q}) \mathbf{D}_C$, где $\overline{q}$ определяет сопряжённый кватернион, $\mathbf{D}_C = \mathrm{diag}(1, -\mathbf{I}_3)$ - оператор гиперкомплексного сопряжения $\overline{q} = \mathbf{D}_C q$. Таким образом, имея устройство для вычисления одного из типов умножения можно выполнять другие с помощью простых преобразований.

Параллельная схема умножителя. Матрицу умножения кватернионов $\mathbf{M}^{+}(q)$ можно представить в виде следующей блочной матрицы [1]:

$$\mathbf{M}^{+}(q) = \begin{bmatrix} \mathbf{C}(q) & -\mathbf{S}(q) \\ \mathbf{S}(q) & \mathbf{C}(q) \end{bmatrix}, \quad \text{где}\, \mathbf{C}(q) = \begin{bmatrix} q_1 & -q_2 \\ q_2 & q_1 \end{bmatrix}, \mathbf{S}(q) = \begin{bmatrix} q_3 & q_4 \\ q_4 & -q_3 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Использование факторизации (1) позволяет построить архитектуру умножителя кватернионов на 4-х параллельно включённых 2D CORDIC схемах, определяемых матрицами $\mathbf{C}(q)$ или $\mathbf{S}(q)$. CORDIC алгоритм основывается на факторизации матрицы вращения Гивенса $\mathbf{R}(\phi)$:

$$\mathbf{R}(\phi) \approx \mathrm{S}_{tot} \prod_{n=0}^{N-1} \begin{bmatrix} 1 & -\sigma(n) 2^{-\tau(n)} \\ \sigma(n) 2^{-\tau(n)} & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где N – количество итерации алгоритма, σ - знак, S_{tot} - масштабирующий коэффициент и количество сдвигов - τ .

Достоинством данной архитектуры умножителя является высокое быстродействие, однако аппаратные затраты больше.

Умножитель на 4D CORDIC арифметике. Другим решением умножителя кватернионов является модифицированный вариант 4D CORDIC алгоритм с «разреженными» итерациями [2]. Здесь выполняется вращение входного вектора $\mathbf{x}$ относительно мнимых частей кватерниона i, j, k по отдельности. Такое нововведение позволило серьёзно сократить аппаратные расходы, путём увеличения итераций.

Умножитель с CORDIC-лестничной параметризацией. Применительно к задаче построения ПУБФ на основе умножителей кватернионов [3] обе описанные выше схемы не позволяют сохранить свойство перфективной реконструкции ПУБФ за счёт конечной точности выполнения операции умножения. В системе синтеза банка фильтров в алгебре кватернионов предполагается умножение на сопряжённый кватернион $\overline{q}$, принимая это во внимание можно построить умножитель кватернионов, компенсирующей ошибки вычислений на основе лестничной схемной параметризации. На основе известной трёхступенчатой лестничной факторизации двумерной матрицы поворота можно получить следующую факторизацию матрицы умножения $\mathbf{M}^{+}(q)$ [4]:

$$\mathbf{M}^{+}(q) = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{I}_2 & \mathbf{F}(q) \\ 0 & \mathbf{I}_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{U}(\mathrm{q})} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{I}_2 & 0 \\ \mathbf{G}(q) & \mathbf{I}_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{L}(\mathrm{q})} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{I}_2 & \mathbf{H}(q) \\ 0 & \mathbf{I}_2 \end{bmatrix}}_{\mathbf{V}(\mathrm{q})}. \quad (3)$$

Для заданного коэффициента q определяется набор матричных выражений [3], которые могут быть решены однозначно для $\mathbf{F}(q), \mathbf{G}(q), \mathbf{H}(q)$, при условии, что $\mathbf{S}(q)$ является несингулярной матрицей:

$$\mathbf{F}(q) = (\mathbf{C}(q) - \mathbf{I}_2)\mathbf{S}(q)^{-1}, \mathbf{G}(q) = \mathbf{S}(q), \mathbf{H}(q) = \mathbf{S}(q)^{-1}(\mathbf{C}(q) - \mathbf{I}_2)\mathbf{S}(q)^{-1}. \quad (4)$$

Элементы данных матриц представляют собой вещественный коэффициенты лестничной схемы, которые можно выразить через параметрый полярной формы кватерниона q. Инверсия треугольных матриц потребует только изменения знака их недиагональных элементов (лестничных коэффициентов). Таким образом, умножение на $1/q$, или на эквивалентный $\bar{q}$, реализуется применением шагов лестничного алгоритма с обратными коэффициентами. Из-за структурной близости матриц $\mathbf{F}(q), \mathbf{G}(q), \mathbf{H}(q)$ к факторизации матрицы вращения (2) можно выразить шаги лестничной схемы без использования умножения действительных чисел. Следовательно, можно конструировать умножитель кватернионов с CORDIC-лестничной параметризацией пригодный для применения в системах обработки сигналов без потерь.

Список литературы

1. *Петровский Н.А., Парфенюк М.* // Доклады БГУИР №1(55), Мн., УО БГУИР, с.70-74, 2011.
2. *Петровский Н., Парфинюк М.* // М: (DSPA'13), том.2, март 2013. С.206-210
3. *Petrovsky N., Parfieniuk M.,* International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES'2012), 6 p., Wroclaw, Poland, Sep 2012. Open access: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6382236.
4. *M. Parfieniuk and A. Petrovsky,* // Signal Process., vol. 90, pp. 1755–1767, 2010.

УДК 681.513.6; 681.513.7

СПОСОБ ОБРАБОТКИ СЕНСОРНЫХ СИГНАЛОВ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОАССОЦИАТИВНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Г.А. ПРОКОПОВИЧ

Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси
ул. Сурганова, 6, г. Минск, 220012, Республика Беларусь
rprakapovich@robotics.by

В работе рассматривается проблема анализа сенсорных сигналов мобильных робототехнических устройств, функционирующих в априори неизвестной местности, в связи с чем им могут встретиться объекты, отсутствующие при первоначальном обучении. Для решения проблемы безопасного управления в работе предлагается применить свойства гетероассоциативных искусственных нейронных сетей, с помощью которых возможно реализовать не только процессы классификации, но и дообучения самой долговременной памяти.

Ключевые слова: распознавание образов, принятие решений, ассоциативная память, искусственные нейронные сети, сенсоры.

Наиболее актуальными задачами современной робототехники остаются задачи интеллектуального анализа и интеграции сенсорных данных, снимаемых с различных датчиков, построение системы целостного восприятия информации и формирования