

- Избегать препятствий на пути;
- В случае отсутствия GPS сигнала использовать визуально-инерциальную навигационную систему для оценки своего перемещения в пространстве;
- Уметь перемещаться на основе данных GPS.

Последняя задача решается при помощи контроллера перемещения с установленной на него прошивкой Ardupilot Rover или Ardupilot Copter соответственно [6], а также с помощью КЦ, работающего под управлением вышеупомянутого ПО Mission Planner. Задача обнаружения мин была рассмотрена в [3], в данной работе принимается что GPS координата найденной мины совпадает с GPS координатой самого робота (с поправкой на высоту).

Что касается определения и корректировки GPS координат, то было принято решение использовать технологию DGPS (Differential GPS), поскольку она позволяет сильно уменьшить ошибку позиционирования [7]. На основании этого формируется корректирующее сообщение [8].

Для избежания столкновений с препятствиями используется механизм построения границы вокруг робота. Пространство вокруг робота делится на сектора по 45 градусов, и камера, смотрящая вперед, оценивает расстояние до препятствия. Это расстояние используется, чтобы построить вокруг робота восьмиугольник границы. Наконец, если расстояние становится меньше заданного порога, робот пытается обогнуть препятствие или останавливается.

Разработка новой визуально-инерциальной системы навигации является довольно сложной задачей, поэтому автор выбрал использование подхода из [9], комбинирующего данные с камеры и ряда инерциальных сенсоров (гироскопы, акселерометры) с последующей обработкой расширенным фильтром Калмана.

#### **Список использованных источников:**

1. Tatur, M. M. Multifunction System of Mobile Robotics / M. M. Tatur, A. K. Dadykin, M. Kurdi // The Third International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and their Applications. - 2016. - P. 110 - 113.
2. Efficient navigation system of mobile robot with thermography image processing system and mapping of quadcopter / M. Kurdi and others // The 4th International Conference on Computer Science, Computer Engineering, and Education Technologies (CSCEET2017). - Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017. - Pp. 23-28.
3. Cooperative Unmanned Air and Ground Vehicles for Landmine Detection / M. Kurdi and others // International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications, 2019.
4. Mission Planner Documentation [Electronic resource] // Mission Planner Home. - Mode of access: <http://ardupilot.org/planner/index.html>. - Date of access: 10.01.19.
5. Radiation Search Operations using Scene Understanding with Autonomous UAV and UGV / G. Christie and others // Journal of Field Robotics. - 2016. - P. 110 – 137.
6. Mission Planner Documentation [Electronic resource] // DOWNLOADS: Firmware. - Mode of access: [http://ardupilot.org/planner/docs/common-downloads\\_firmware.html](http://ardupilot.org/planner/docs/common-downloads_firmware.html). - Date of access: 10.01.19.
7. Википедия [Электронный ресурс] // DGPS. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DGPS>. - Дата доступа: 22.02.19.
8. RACELOGIC support centre [Electronic resource] // How does DGPS (Differential GPS) work?. - Mode of access: [https://racelogic.support/01VBOX\\_Automotive/01General\\_Information/Knowledge\\_Base/How\\_does\\_DGPS\\_\(Differential\\_GPS\)\\_work%3F](https://racelogic.support/01VBOX_Automotive/01General_Information/Knowledge_Base/How_does_DGPS_(Differential_GPS)_work%3F). - Date of access: 22.02.19.
9. Weiss, Stephan Real-Time Metric State Estimation for Modular Vision-Inertial Systems / Weiss Stephan, Siegwar Roland Y. // 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation : (ICRA 2011) ; Shanghai, China, 9 - 13 May 2011. - 2011. - P. 4531-4537

## **УМНОЖЕНИЕ КВАТЕРНИОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ**

*Сапронова Ю.И.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Петровский Н.А. – к.т.н., доцент*

Показано исследование умножения кватернионов, представленных в форме Кэли-Дисконна с использованием логарифмической системы счисления. На вход множителя поступают коэффициенты, представленные в логарифмической полярной форме. Процесс вычисления разбивается на две параллельные практически одинаковые части. За счет особенностей вычисления, в один момент времени каждая часть работает либо с функцией суммы, либо с функцией разности. При получении результата необходимо произвести корректировку квадранта получаемого комплексного числа. Для получения действительных коэффициентов кватерниона необходимо произвести обратное преобразование из логарифмической полярной формы.

Умножение кватернионов является затратной вычислительной операцией, требующей оптимизации, поскольку включает в себя 16 умножений и 12 сложений действительных чисел [1]. Кроме этого, немалую роль играет динамический диапазон значений, которые можно использовать при умножении. Представление с фиксированной точкой позволяет производить быстрые вычисления, однако имеет узкий динамический диапазон. Использование представления с

плавающей точкой позволяет расширить этот диапазон, но при этом увеличивает время вычислений. Применение логарифмической системы счисления может помочь при вычислении результата произведения двух кватернионов, коэффициенты которых представлены с использованием фиксированной точки, таким образом, что динамический диапазон значений будет больше (по сравнению с представлением с фиксированной точкой без применения логарифмической системы счисления), а время вычисления будет меньше (по сравнению с представлением с плавающей точкой без применения логарифмической системы счисления). Целью работы является исследование структуры устройства для умножения кватернионов с использованием логарифмической системы счисления.

Как показано в [2] применение логарифмической системы счисления для умножения кватернионов, представленных в виде  $Q = Q_1 + Q_2i + Q_3j + Q_4k$  и  $R = R_1 + R_2i + R_3j + R_4k$ , не приносит никакого выигрыша в количестве реализуемых операций ввиду не коммутативности произведения, т.е.  $\ln \ln (QR) \neq \ln \ln (Q) + \ln \ln (R)$ . Другим способом представления кватернионов  $Q$  и  $R$  является конструкция Кэли-Диксона [3]:

$$Q = Q_{12} + Q_{34}j \text{ и } R = R_{12} + R_{34}j, \quad (1)$$

где  $Q_{12} = Q_1 + Q_2i$ ,  $Q_{34} = Q_3 + Q_4i$ ,  $R_{12} = R_1 + R_2i$  и  $R_{34} = R_3 + R_4i$ , представляют собой комплексные числа. Использование логарифмической системы счисления заключается в представлении каждого из указанных комплексных чисел вида  $C = C_1 + C_2i$  в логарифмической полярной форме [3] по основанию  $b$ :

$$c = c_1 + c_2i = \log \log \left( \sqrt{C_1^2 + C_2^2} \right) + \arctg \left( \frac{C_2}{C_1} \right) \cdot i \quad (2)$$

Таким образом, сходные кватернионы  $Q$  и  $R$  будут представлены в виде пары логарифмических коэффициентов  $q_1, q_3$  и  $r_1, r_3$ , а также пары углов (аргументов)  $q_2, q_4$  и  $r_2, r_4$  соответственно. При этом при переводе значений нужно также учитывать квадрант, в котором находится исходное комплексное число. Эти значения поступают на вход умножителя, представленного на рисунке 1. Для начала входные значения формируют промежуточные значения (3), необходимые в дальнейших расчетах.

$$\begin{aligned} z_1 &= q_1 - q_3 + r_1 - r_3, \\ z_2 &= q_2 - q_4 + r_2 + r_4 + \frac{\pi}{2}, \\ z_3 &= q_1 - q_3 - r_1 + r_3, \\ z_4 &= q_2 - q_4 + r_2 + r_4. \end{aligned} \quad (3)$$

Как видно, значения  $z_2$  и  $z_4$  различаются на  $\frac{\pi}{2}$ , таким образом, нет необходимости иметь два блока для вычисления функций  $\log(|\cos(x)|)$  и  $\log(|\sin(x)|)$ . Дальнейшие вычисления разделяются на две параллельно работающие практически одинаковые части. Единственное различие заключается в том, какая функция суммы  $s(x)$  или разности  $d(x)$  [4] будет использоваться. Процесс вычисления построен таким образом, что за счет особенностей промежуточных значений (3) каждая половина умножителя использует только одну из функций в один момент времени, т.е. если одна половина использует функцию суммы, то другая использует функцию разности. За определение используемой функции отвечает блок «Выбор функции».

За счет функций  $\log(|\cos(x)|)$  и  $\log(|\sin(x)|)$  возникает необходимость коррекции квадрантов выходного результата (т.е. аргументов комплексных чисел). Коррекция осуществляется за счет добавления или вычитания константы ( $\frac{\pi}{2}$  или  $\pi$ ) и возможного изменения знака функции и  $\arctg(b^{-x})$  (а в некоторых случаях значение этой функции нет необходимости рассчитывать).

Для формирования результатов умножения  $m_i$  необходимы входные значения  $q_i$  и  $r_i$ , а также рассчитанные ранее значения с учетом коррекции. Полученные значения также представлены в логарифмической полярной форме, поэтому необходимо применить обратное преобразование [3]:

$$C = C_1 + C_2i = b^{c_1} \cdot \cos(c_2) + b^{c_1} \cdot \sin(c_2) \cdot i \quad (4)$$

Необходимость применения нескольких умножений подряд может сократить накладные расходы на перевод в логарифмическую систему счисления.

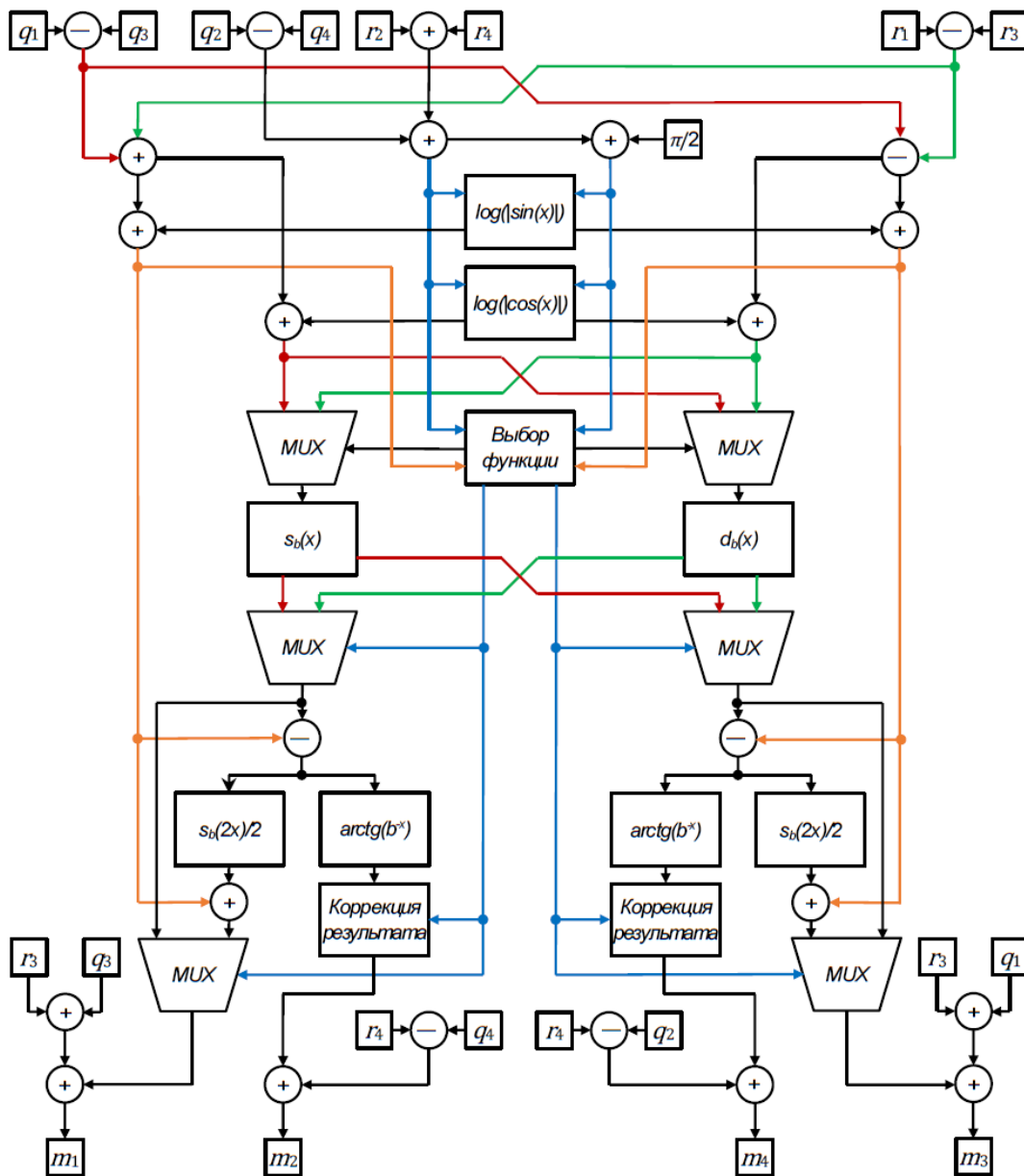


Рисунок 1 – Схема умножителя кватернионов с использованием логарифмической системы счисления

**Список использованных источников:**

1. Ward J.P. Quaternions and Cayley Numbers // Springer Science+Business Media Dordrecht, 1997. – 242 p.
2. Arnold, M.G. Towards a Quaternion Complex Logarithmic Number System // 20th IEEE Symposium on Computer Arithmetic, 2011. – pp. 33-42.
3. Sangwine, S.J. Quaternion Polar Representation with a Complex Modulus and Complex Argument Inspired by the Cayley-Dickson Form // Advances in Applied Clifford Algebras, 2010. – pp. 111-120.
4. Swartzlander E.E. The Sign/Logarithm Number System // IEEE Transactions on Computers, 1975. – pp. 1238-1242.