

УДК 519.711

## РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ СУДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA

**Водолазский Д.А., Кривошеев С.В.**

Донецкий национальный технический университет  
кафедра компьютерной инженерии  
E-mail: [tata79@ukr.net](mailto:tata79@ukr.net)

### *Аннотация*

*Водолазский Д.А., Кривошеев С.В. Разработка подсистемы расчета траектории движения судна с использованием технологии NVIDIA CUDA. Рассмотрены особенности построения интегрированной навигационной системы. Определен подход к увеличению точности и быстрдействию подсистемы расчета траектории движения судна. Приведены результаты экспериментальных исследований при определении траекторий движения группы судов.*

Требования повышения безопасности движения транспортных средств, защиты окружающей среды, снижение влияния субъективного фактора на качество управления, повышение степени автоматизации управления требуют применения новых технологий и средств моделирования.

Автоматизация систем управления движением как транспортного средства (автомобиля, самолета, судна) в целом, так и совокупностью участников движения позволяет более интенсивно эксплуатировать транспортный коридор, увеличить безопасность подвижных объектов транспортного потока, снизить расход топлива, оптимально использовать режимы работы двигателя транспортного средства.

В настоящее время наблюдается тенденция создания интегрированных автоматизированных систем (ИАС). Интегрированная система – это независимый комплекс, в котором выполняются все процессы обработки, обмена и представления информации. ИАС включает различные аспекты интеграции: интеграцию данных, технологий и технических средств. Данные системы позволяют их применение как в качестве бортового вычислительного комплекса (БВК), так и в качестве тренажерной системы, которая позволяет формировать у обучаемого навыков и действий при сложных ситуациях. Применение ИАС в роли БВК заключается во включении их в контур управления транспортных средств, что обеспечивает интеллектуализацию подвижного объекта. Интеллектуальное транспортное средство – это подвижный объект, оборудованный датчиками, вычислительным комплексом, и системой управления. Датчики позволяют транспортному средству "чувствовать" путь, другие транспортные средства и потенциальные опасности; вычислительный комплекс обрабатывает полученную информацию и определяет действия объекта; система управления выполняет заданные действия. При этом транспортные средства под управлением БВК, в отличие от непосредственно управляемых оператором, не подвержены стрессам, усталости и другим внешним факторам.

Одним из важнейших направлений интеллектуализации транспортных средств является разработка систем автоматизированного судовождения. Проблемы повышения безопасности судоходства в стесненных условиях, экономии энергоресурсов и снижения экологической нагрузки на окружающую среду требуют разработки систем автоматического управления движением судна по заданному фарватеру, т.е. интегрированной навигационной системы (ИНС) для судов внутреннего и смешанного плавания (СВСП) [1]. Основной целью ИНС для СВСП является повышение безопасности движения на внутренних водных путях

благодаря освобождению судоводителя от решения навигационных расчетов. Это обеспечивается за счет предоставления ИНС обширной информации о навигационной обстановке и участниках движения. Кроме того, ИНС обеспечивает увеличение экономичности судна и улучшение координации по управлению транспортными потоками. Для выполнения этих целей в пределах БВК в составе ИНС необходимо решить ряд задач, а именно:

- определение координат местоположения, курса и скорости судна;
- слежение за местоположением, курсом и скоростью всех подвижных участников в пределах наблюдаемой бортовыми датчиками НМ;
- планирование оптимальной траектории движения судна по заданным критериям с возможностью ее коррекции судоводителем;
- управление движением судна по заданной траектории;
- взаимодействие с судоводителем и береговыми службами управления движением судов.

Структура ИНС для СВСП приведена на рис.1. и включает в себя следующие основные блоки: бортовые датчики информации, базы априорных знаний, блок определения местоположения судна, блок оценки навигационной обстановки, блок визуализации и диалога с судоводителем, блок управления исполнительными механизмами.



Рисунок 1 – Структура ИНС для внутреннего и прибрежного судоходства

Использование математических моделей в контуре управления предоставляет возможность исследования и анализа различных состояний объекта, прогнозирования его поведения в зависимости от управляющих воздействий и внешних факторов, действующих на управляемый объект. Однако высокая эффективность достигается при управлении объектом в составе группы и осуществляется в сильносвязном информационном пространстве. Сильносвязность предполагает воплощение принципа "всё зависит от всего". В глобальном информационном пространстве такие системы становятся изначально крайне неустойчивыми, что предъявляет особые требования к качеству математических моделей, а также к вычислительным системам и сетевым средствам их воплощения в ресурсах глобальных сетей.

С точки зрения кинематики судно может рассматриваться как твердое тело с шестью степенями свободы, а уравнения движения судна составляются на основании законов кинематики и динамики твердого тела, теории силового воздействия жидкости на движущееся тело [2].

Для изучения движения судна по свободной поверхности применяют следующие

основные системы координат [3] (рис. 2):

Неподвижную (или абсолютную) систему координат  $Oxh$ .

Связанную с судном (подвижную) систему координат  $Ox_{y,z}$ .

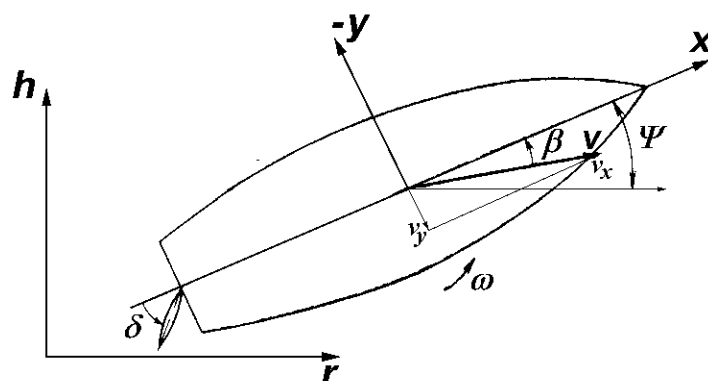


Рисунок 2 – Основные параметры движения судна

Преобразование из неподвижной системы координат в подвижную производится с помощью следующей матрицы перевода  $\eta$  [4]:

$$\dot{r} = J(\eta) \dot{v},$$

где

$$J(\eta) = \begin{bmatrix} \cos \Psi & -\sin \Psi & 0 \\ \sin \Psi & \cos \Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \dot{v} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix},$$

где  $\dot{v}$  – вектор скорости;  $v_x, v_y, v_z$  – проекции вектора скорости судна;  $\Psi$  – курс судна.

Система уравнений, которая описывает движение судна в трех плоскостях, записывают в следующей форме [4]:

$$\begin{cases} \chi_{11} \frac{dv_x}{dt} + \lambda_{13} \frac{dv_z}{dt} + \lambda_{15} \frac{d\omega_y}{dt} - \chi_{22} \omega_{yz} + \chi_{33} \omega_{zy} + \lambda_{13} \omega_{xy} - \lambda_{24} \omega_{xz} + \lambda_{35} \omega_y^2 - \lambda_{26} \omega_z^2 = N_x; \\ \chi_{22} \frac{dv_y}{dt} + \lambda_{24} \frac{d\omega_x}{dt} + \lambda_{26} \frac{d\omega_z}{dt} + \chi_{11} \omega_{xz} - \chi_{33} \omega_{zx} + \lambda_{13} \omega_z + \lambda_{15} \omega_{yz} - \lambda_{35} \omega_{xy} - \lambda_{13} \omega_x = N_y; \\ \chi_{33} \frac{dv_z}{dt} + \lambda_{13} \frac{dv_x}{dt} + \lambda_{35} \frac{d\omega_y}{dt} - \chi_{11} \omega_{xy} + \lambda_{24} \omega_x^2 + \chi_{22} \omega_{yx} + \lambda_{26} \omega_{xz} - \lambda_{13} \omega_{zy} - \lambda_{15} \omega_y^2 = N_z; \\ \gamma_{44} \frac{d\omega_x}{dt} + \lambda_{24} \frac{dv_y}{dt} + \lambda_{13} v_{xy} - \lambda_{15} \omega_{xz} - \lambda_{24} \omega_{zx} + (\lambda_{33} - \lambda_{22}) v_{yz} + (\lambda_{26} - \lambda_{35}) (\omega_y - \omega_z) + [\gamma_{66} - \gamma_{55}] \omega_{yz} = M_x; \\ \gamma_{55} \frac{d\omega_y}{dt} + \lambda_{15} \frac{dv_x}{dt} + \lambda_{35} \frac{dv_z}{dt} + [\gamma_{44} - \gamma_{66}] \omega_{xz} + (\lambda_{11} + \lambda_{33}) v_{xz} + \lambda_{13} (v_x^2 - v_z^2) - \lambda_{35} \omega_y + \lambda_{15} \omega_{zy} + \lambda_{24} \omega_{yz} - \lambda_{26} \omega_{yx} = M_y; \\ \gamma_{66} \frac{d\omega_z}{dt} + \lambda_{26} \frac{dv_y}{dt} + [\gamma_{55} - \gamma_{44}] \omega_{xy} + (\lambda_{22} - \lambda_{11}) v_{xy} + \lambda_{35} \omega_{zx} - \lambda_{13} v_{yz} + \lambda_{26} \omega_{zx} + (\lambda_{15} + \lambda_{24}) \omega_x - (\lambda_{15} + \lambda_{24}) \omega_y = M_z. \end{cases}$$

где  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  – проекции вектора угловой скорости движения судна;  $N_x, N_y, N_z$  – проекции вектора внешних сил;  $M_x, M_y, M_z$  – проекции вектора главного момента;  $\chi_{ij}$  – обобщенные присоединенные массы корпуса судна, образуемые водной средой, в которой осуществляется движение;  $m$  – масса судна;  $J_x, J_y, J_z$  – проекции присоединенного момента инерции массы судна.

Таким образом, для расчета траектории движения судна требуются большие

вычислительные возможности. В настоящее время основным направлением увеличения вычислительных мощностей является организация параллельных вычислений, с использованием соответствующих методов и алгоритмов. Для реализации эффективного распараллеливания вычислений необходим переход на новые технологии и новые параллельные методы решения задач, которые позволят резко снизить стоимость вычислений. Современные технологии предоставляют два основных направления вычислительных средств: многоядерные процессоры (CPU) и графические процессоры (GPU).

До последнего времени ключевым компонентом систем для высокопроизводительных вычислений, включая кластеры, был центральный процессор. Однако несколько лет назад у него появился серьезный конкурент – графический процессор (GPU). Высокая производительность GPU объясняется особенностями его архитектуры. В отличие от центрального процессора, который состоит из нескольких ядер, графический процессор изначально создавался как многоядерная структура, в которой количество компонентов измеряется сотнями.

Каждая из этих двух архитектур имеет свои достоинства. Говорить о замене CPU на GPU не имеет смысла – они не взаимно дополняют друг друга. CPU лучше работает с последовательными задачами, но при большом объеме обрабатываемой информации, с которой можно работать параллельно, очевидное преимущество имеет GPU [5].

Структура GPU производства NVIDIA приведена на рис. 3 и состоит из потоковых многоядерных процессоров, которые состоят из потоковых процессоров, узла команд, распределенной памяти.

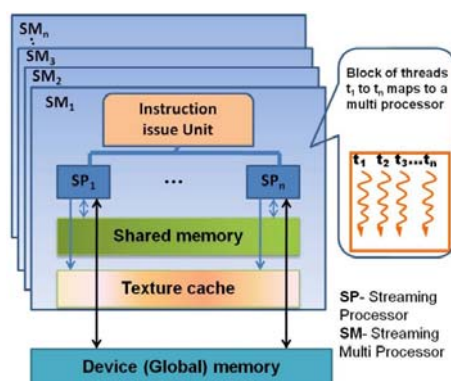


Рисунок 3 – Архитектура NVIDIA GPU

Для программирования GPU производства NVIDIA применяют программно-аппаратную платформу CUDA[6], позволяющую запускать произвольный код. CUDA предоставляет разработчику возможность создавать код, исполняющийся непосредственно на ядрах графического процессора, управлять его памятью, организовывать на нем сложные параллельные вычисления - проще говоря, использовать его как процессор общего назначения.

Исследование производительности подсистемы расчета координат траектории производилось при реализации на двух разных системах: с использованием многоядерного процессора (Intel Core 2 Duo P8700, 2.53 ГГц) и многоядерного GPU. Характеристики GPU приведены на рис. 4.

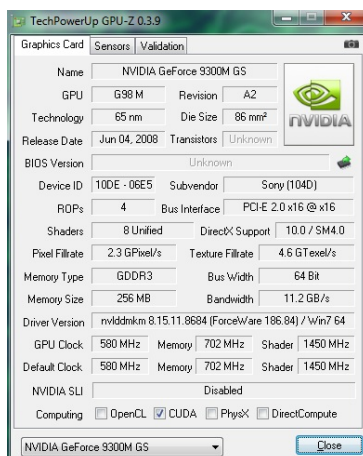


Рисунок 4 – Параметры видеоадаптера nVidia GeForce 9300M GS

Результаты эксперимента для GPU приведены на рис. 5.

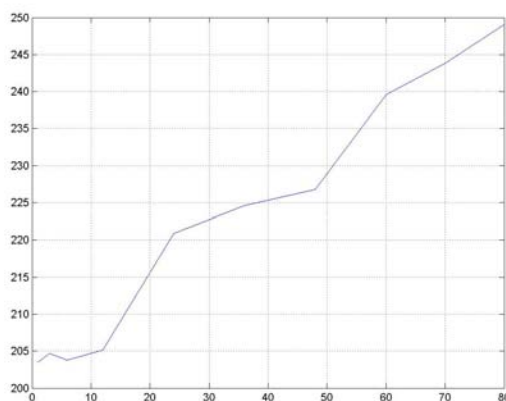


Рисунок 5 – Зависимость времени расчета (мс) координат траектории от кол-ва судов

### Вывод

На основании выполненных экспериментов была определена граница эффективности применения GPU. Количество судов в группе должно быть не менее 62. В противном случае рациональнее применять только вычислительные системы на базе многоядерного процессора без использования GPU которые поддерживают платформу CUDA.

### Список литературы

1. Bittner R., Driescher A., Gilles E.D. Entwurf einer Vorsteuerung zur hochgenauen Bahnführung von Binnenschiffen. 3. Wismarer Automatisierungssymposium, September 2002. ss.4-11
2. Васильев А.В. Управляемость судов. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
3. Соболев Г.В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения. (Гидродинамика криволинейного движения и регулирование курса). Л.: Судостроение, 1976 – 478с.
4. Ходкость и управляемость судов. Под ред. В.Г. Павленко. М.: Транспорт, 1991. – 396 с.
5. Джораев А.Р. Гибридные вычислительные системы на основе GPU для задач биоинформатики. Компьютерные исследования и моделирование. Т.2 №2, 2010. – с.163-167
6. NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture. Programming Guide.: [www.nvidia.com](http://www.nvidia.com), 2012