

УДК 519.711

Р.Р. Москаленко, Д.С. Водолазский, С.В. Кривошеев
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра компьютерной инженерии

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

Аннотация

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

Ключевые слова: *интегрированная навигационная система, подсистема расчета траектории движения судна.*

Снижение влияния субъективного фактора водителя на качество управления транспортными средствами, увеличение уровня автоматизации контроля над ними, повышение безопасности движения и защита от воздействий на окружающую среду, требуют использования новых технологий и средств моделирования.

Увеличение степени автоматизации систем управления движением транспортного средства (автомобилями, самолётами, судами) и улучшение контроля над участниками движения позволяет повысить интенсивность транспортного коридора, понизить расходы топлива, оптимизировать работу двигателя транспортных средств, повысить безопасность объектов.

В настоящее время наблюдается развитие направления создания интегрированных систем (ИС). Интегрированная система – это отдельный комплекс, который включает в себя все процессы обработки, обмена и представления информации. ИС содержит такие аспекты интеграции : интеграцию данных, технологий и технических средств. Системные данные позволяют применять подобные системы в качестве бортового вычислительного комплекса (БВК) или как тренажерную систему, которая позволит обучаемому приобрести необходимые навыки для принятия действий в тяжёлых ситуациях. Использование ИС в качестве БВК возможно реализовать при включении её в контур управления транспортного средства, что приводит к некой интеллектуализации движущегося объекта. Интеллектуальное транспортное средство – это подвижный объект,

оборудованной системой управления, вычислительным комплексом и датчиками, которые позволяют транспортному средству “ощущать” другие транспортные средства и различные опасности, возникающие на пути. Вычислительный комплекс определяет действия объекта по полученной миссии либо траектории движения. Стоит отметить, что транспортные средства под контролем БВК не подвергаются какой-либо усталости, стрессам или другим внешним факторам, которые могут воздействовать на управляемых живых операторов.

Разработка систем автоматизированного судовождения непременно является одним из важнейших направлений интеллектуализации транспортных средств. Автоматического управления передвижением судна по заданному фарватеру требуют такие распространённые проблемы, как : повышения безопасности судоходства в утеснённых условиях, снижение экологического вреда окружающей среде и экономия энергетических. Другими словами это будет 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. Достигается это за счет предоставления ИНС обширной информации об участниках движения по заданному пути и навигационной обстановке. Помимо этого, ИНС повышает экономичность судна и улучшает координаты по контролю транспортных. Для достижения всех этих целей в пределах БВК в составе ИНС нужно решить ряд задач, а именно :

- расчёт и определение координат местоположения, курса и скорости судна;
- определение местоположения, курса и скорости всех подвижных участников, находящихся в зоне наблюдения с помощью бортовых датчиков и их сопровождение;
- планировка оптимальной траектории пути судна по определённым критериям с возможностью корректировки этой траектории непосредственно судоводителем;
- управление движением судна по заданной траектории;
- взаимодействие с судоводителем и береговыми службами контроля движения судов.

Структура ИНС для СВСП, разработанная в Штутгартском университете (Германия), приведена на рис.1. и состоит из таких блоков: бортовые датчики информации, базы априорных знаний, блок определения местоположения судна, блок оценки навигационной обстановки, блок визуализации и диалога с судоводителем, блок управления исполнительными механизмами.



Рис. 1 – Структура ИНС для внутреннего и прибрежного судоходства

Использование математических моделей в контуре управления предоставляет возможность анализа и исследований различных состояний объекта, предсказания его поведения в зависимости от всевозможных воздействий на управление и внешних факторов, действующих на объект. Тем не менее высокая эффективность достигается при управлении объектом в составе группы и осуществляется в плотном информационном пространстве. Эта плотность подразумевает воплощение принципа "всё зависит от всего". В глобальном информационном пространстве такие системы изначально становятся очень неустойчивыми, что выдвигает особые требования к качеству математических моделей, к вычислительным системам и сетевым средствам их воплощения в ресурсах глобальных сетей.

С кинематической точки зрения судно можно рассматривать 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 неподвижную (или абсолютную) систему координат и подвижную (связанную с судном) систему координат [3].

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

$$\dot{\eta} = J(\eta)\dot{\nu},$$

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; Ψ – курс судна.

Систему уравнений, описывающую движение судна в трех плоскостях, представляют в таком виде [4]:

$$\begin{cases} \lambda_{41} \frac{dv_x}{dt} + \lambda_{43} \frac{dv_z}{dt} + \lambda_{45} \frac{d\omega_y}{dt} - \lambda_{22} \overline{\omega}_{yz} + \lambda_{33} \overline{\omega}_{xy} + \lambda_4 \overline{\omega}_{xy} - \lambda_{24} \omega_x + \lambda_{35} \omega_y^2 - \lambda_{26} \omega_z^2 = N_x; \\ \lambda_{22} \frac{dv_y}{dt} + \lambda_{24} \frac{d\omega_x}{dt} + \lambda_{26} \frac{d\omega_z}{dt} + \lambda_{41} \overline{\omega}_{xz} - \lambda_{33} \overline{\omega}_{xy} + \lambda_4 \overline{\omega}_{xy} + \lambda_{24} \omega_x - \lambda_{35} \omega_y - \lambda_4 \overline{\omega}_{xy} = N_y; \\ \lambda_{33} \frac{dv_z}{dt} + \lambda_{43} \frac{dv_x}{dt} + \lambda_{35} \frac{d\omega_y}{dt} - \lambda_{41} \overline{\omega}_{xz} + \lambda_{24} \omega_x + \lambda_{22} \overline{\omega}_{yz} + \lambda_{26} \omega_z - \lambda_{35} \omega_y - \lambda_{45} \omega_y^2 = N_z; \\ \lambda_{44} \frac{d\omega_x}{dt} + \lambda_{24} \frac{dv_y}{dt} + \lambda_{13} v_{xy} - \lambda_4 \overline{\omega}_{xz} - \lambda_{24} \overline{\omega}_{xy} + (\lambda_{33} - \lambda_{22}) v_{yz} + (\lambda_{26} - \lambda_{35}) (\overline{\omega}_y - \overline{\omega}_z) + [\gamma_{66} - \gamma_{55}] \omega_{yz} = M_x; \\ \lambda_{55} \frac{d\omega_y}{dt} + \lambda_{45} \frac{dv_x}{dt} + \lambda_{35} \frac{dv_z}{dt} + [\gamma_{44} - \gamma_{66}] \omega_{xz} + (\lambda_{41} + \lambda_{33}) v_{xz} + \lambda_{13} (v_x^2 - v_z^2) - \lambda_{33} \overline{\omega}_y + \lambda_{41} \overline{\omega}_{xy} + \lambda_{24} \overline{\omega}_{yz} - \lambda_{26} \overline{\omega}_{yx} = M_y; \\ \lambda_{66} \frac{d\omega_z}{dt} + \lambda_{26} \frac{dv_y}{dt} + [\gamma_{55} - \gamma_{44}] \omega_{xy} + (\lambda_{22} - \lambda_{41}) v_{xy} + \lambda_{33} \overline{\omega}_{xz} - \lambda_{43} v_{yz} + \lambda_{26} \overline{\omega}_{xz} + (\lambda_{45} + \lambda_{24}) \overline{\omega}_x - (\lambda_{45} + \lambda_{24}) \overline{\omega}_y = M_z. \end{cases}$$

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;

λ_{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.

Исходя из выше приведенного, для расчета траектории движения судна необходимы большие вычислительные возможности. Сегодня основным направлением увеличения вычислительных мощностей является распараллеливание вычислений, с использованием соответствующих методов и алгоритмов. Для снижения стоимости подобных вычислений необходим переход на новые технологии и новые методы решения. Современные технологии предоставляют два основных направления вычислительных средств: многоядерные процессоры (CPU) и графические процессоры (GPU).

До недавнего времени центральный процессор представлял собой основу для высокопроизводительных вычислений, включая кластеры. Тем не менее несколько лет назад графический процессор (GPU) начал составлять для него большую конкуренцию. Высокую производительность GPU можно объяснить особенностями его архитектуры. Центральный процессор состоит из

нескольких ядер в то время, как графический процессор изначально создавался в виде многоядерной структуры, которая насчитывает сотни ядер.

Каждая из этих двух архитектур имеет свои достоинства. Использование CPU все ещё актуально для решения последовательных задач, но при большом объеме обрабатываемой информации, с которой можно работать параллельно, преимущество стоит на стороне GPU [5].

Структура GPU производства NVIDIA представлена на рис. 2 и состоит из потоковых многоядерных процессоров, которые в свою очередь состоят из потоковых процессоров, узла команд и распределенной памяти.

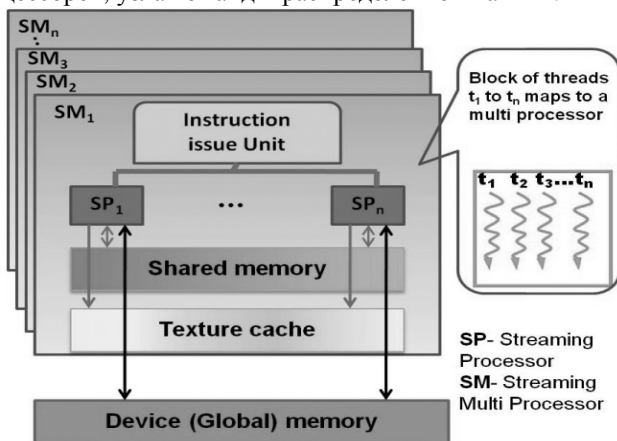


Рис. 2 – Архитектура NVIDIA GPU

Для программирования GPU производства NVIDIA применяют программно-аппаратную платформу CUDA[6], позволяющую запускать произвольный код. Технология CUDA — это программно-аппаратная вычислительная архитектура NVIDIA, основанная на расширении языка Си, которая даёт возможность организации доступа к набору инструкций графического ускорителя и управления его памятью при организации параллельных вычислений.

Моделирование судна выполнялось в следующих режимах: без распараллеливания, с использованием распараллеливания на 4 процессорных ядра и с использованием технологии NVIDIA CUDA. Для каждого варианта построены графики зависимости производительности от числа потоков и они представлены на рис. 3.

Исследования были проведены на процессоре Intel i5-2430M процессором 2,40 ГГц (поддерживает 4 потока) и графическом процессоре NVIDIA GeForce GT 555M 144 ядер CUDA (144 потока).

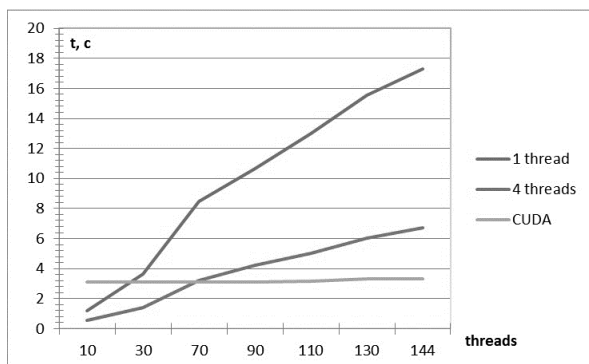


Рис. 3 – Зависимость длительности процесса моделирования от количества потоков, запущенных в системе.

Исследования показали достоверность предложенной математической модели криволинейного движения судна. Различные методы реализации модели имеют разное время обработки данных. Результаты исследований позволяют выбрать наиболее эффективный вариант обработки данных. Эта работа показывает преимущества использования технологии NVIDIA CUDA для большого количества потоков.

Вывод. Исходя из проведенных экспериментов была определена граница эффективности GPU. Количество судов в группе должно быть не менее 62 или в противном случае выгодней применять только вычислительные системы на базе многоядерного процессора без использования GPU и которые поддерживают платформу CUDA.

Список литературы

1. Васильев А.В. Управляемость судов. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
2. Соболев Г.В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения. (Гидродинамика криволинейного движения и регулирование курса). Л.: Судостроение, 1976 – 478с.
3. Ходкость и управляемость судов. Под ред. В.Г. Павленко. М.: Транспорт, 1991. – 396 с.
4. NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture. Programming Guide.: www.nvidia.com, 2012