

ИНИЦИАТИВНЫЙ ПРОЕКТ "РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ PIV"

Р.А. Степанов, А.Г. Масич, Г.Ф. Масич

Цель работ: разработка и апробация новых алгоритмов обработки экспериментальных данных на супервычислителях, управление экспериментом в реальном времени, адаптация коммуникационных протоколов к задачам объединения территориально распределенных вычислителей, хранилищ данных и экспериментальных установок.

Суть проекта - обработка в реальном времени получаемых в ИМСС УрО РАН (Пермь) на PIV-экспериментальной установке изображений на суперкомпьютере СКИФ НИВЦ МГУ (Москва) по временно организованному магистральному каналу связи протяженностью ~1500км на скорости 1 Гбит/с.

Инициатор проекта - Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской Академии Наук (ИМСС УрО РАН)

Соисполнители проекта по коммуникационной части

1. Оператор связи "Импульс" - канал "Пермь - Москва (M9)"
2. РОСНИИРОС - канал "Москва (M9) - узел GigaNAP"
3. МСЦ РАН - канал "узел GigaNAP - МСЦ РАН"

Соисполнители проекта по вычислительному ресурсу : НИВЦ МГУ, суперкомпьютер СКИФ МГУ

Обоснование. Проведение современных газо- и гидродинамических экспериментальных исследований невозможно без качественных измерений полей скорости. Бесконтактные методы измерений (PIV, PTV, PLIF), основанные на обработке изображений, занимают ведущую позицию. Точность измерений зависит от характеристик видеокамер (разрешение и частота кадров) и от возможностей алгоритмов расчета. Ограниченность вычислительной производительности подключенных к экспериментальной установке компьютеров во многом сдерживает развитие математического аппарата и возможности проведения эксперимента. Перенос вычислений на многопроцессорные системы позволит использовать ресурсоемкие, но высокоточные алгоритмы, избежать хранения гигантских объемов избыточной информации, обрабатывать измерения "на лету" и проводить эксперименты с обратной связью.

Архитектура системы "Распределенный PIV" (рис. 1) представляет собой географически распределенный комплекс программно-технических средств, которые можно условно разделить на четыре части: (1) экспериментальная установка PIV; (2) многопроцессорная вычислительная система; (3) коммуникации и (4) пакет программ.

Экспериментальная установка использует метод PIV (Particle Image Velocimetry) [1] - метод цифровой трассерной визуализации. Метод PIV - оптический метод измерения полей скорости жидкости или газа в выбранном сечении потока. Принцип метода. Импульсный лазер создает тонкий световой нож и освещает мелкие частицы, взвешенные в исследуемом потоке. Положения частиц в момент двух последовательных вспышек лазера регистрируются на два кадра цифровой камеры. Скорость потока определяется расчетом перемещения, которое совершают частицы за время между вспышками лазера. Определение перемещения основано на применении корреляционных методов к трассерным картинкам, с использованием регулярного разбиения на элементарные подобласти. Варьирование времени задержки между лазерными вспышками позволяет изменять диапазон измеряемых скоростей от долей миллиметра в секунду до околосвуковых. Твердотельные импульсные Nd:YAG лазеры имеют малую длительность импульса (~ 4 - 10 нсек) и достаточно высокую энергию в импульсе. Использование двух лазеров, работающих на одной оптической оси, позволяет получать короткую временную задержку между импульсами, что необходимо для исследования высокоскоростных потоков.

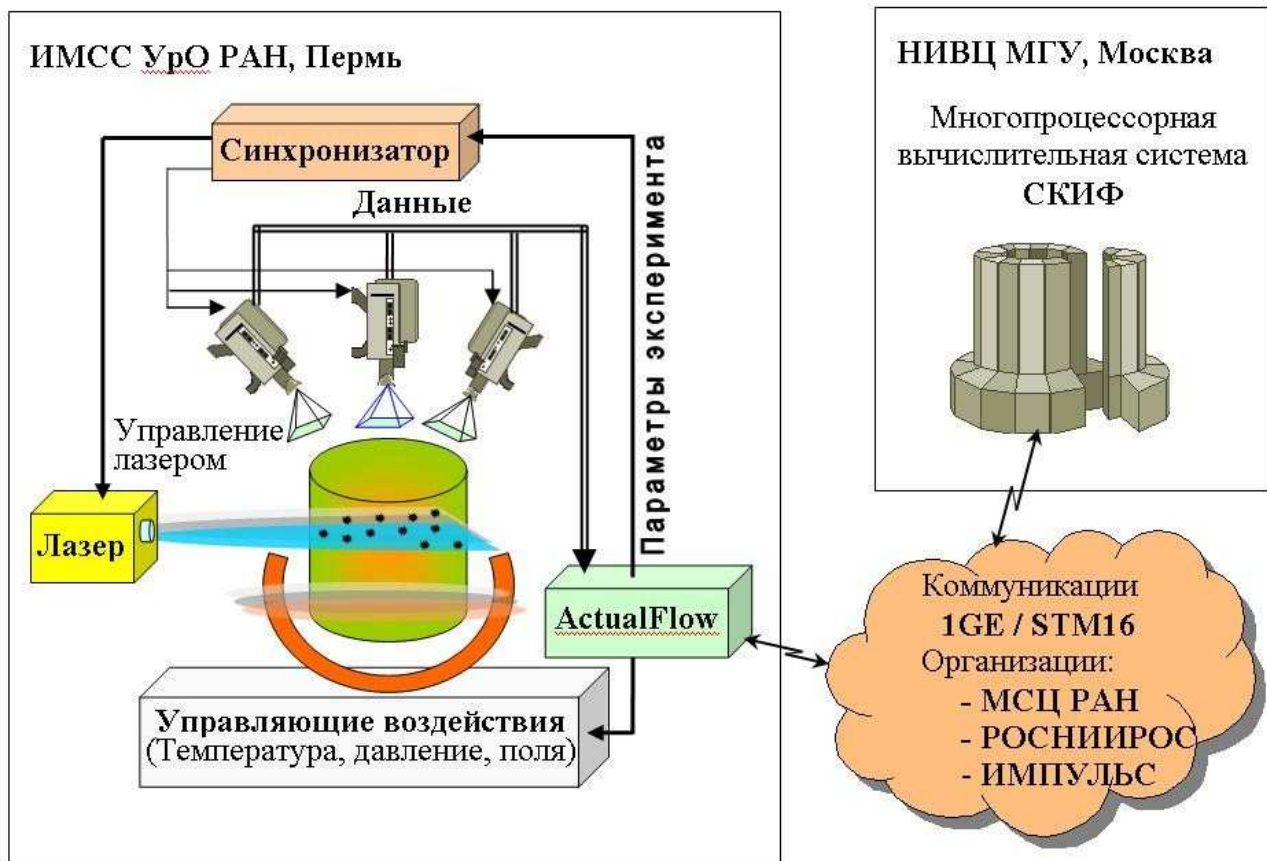


Рис. 1 Архитектура системы "Распределенный PIV"

Метод позволяет измерять две (2D PIV) или три (Stereo PIV) компоненты вектора скорости. Области применения: гидро- и аэродинамика лабораторных течений, физическое моделирование технологических процессов в энергетике, химической промышленности, диагностика обтекания реальных и модельных объектов в авиа- и автомобилестроении и т.д. Экспериментальная установка, на которой отрабатывалась распределенная технология, служит для исследования влияния интенсивных конвективных струй на формирование циклонического вихря [2]. Эта задача актуальна в связи с тем, что проблема о начальной стадии формирования циклона, о том как из состояния вихревого возмущения происходит заметная интенсификация вихря, до сих пор остается открытым. Существенную роль могут играть так называемые "горячие башни" - интенсивные конвективные струи в области формирования циклона. Высокоточные измерения полей скорости и температуры необходимы для обнаружения этих структур.

Измерительная часть установки имеет две видеокамеры, генерирующие последовательность 4-х мегапиксельных изображений с частотой 30 кадров в секунду. Это соответствует потоку данных порядка 500 Мбит/с.

Пакет программ реализует алгоритм параллельного расчета мгновенных полей скорости по изображениям поступающим с измерительной установки. Кросскорреляционный алгоритм [3] является стандартным подходом и будет использоваться в качестве базового (рис.2). В перспективе будут применены адаптивные алгоритмы обработки изображений и алгоритмы на основе вейвлет-преобразования. Алгоритмы вейвлетной кросскорреляции [4] уже хорошо себя зарекомендовали при обработке сложных сигналов. Параллельная обработка заключается в том, что вычислительные узлы в порядке очередности считывают пары файлов, поступающие на кластер в строгой нумерации. Далее выполняют последовательный алгоритм определения поля скорости. Результат вычислений сохраняется на диск для последующей передачи на измерительную установку, а исходные данные удаляются. Такая координация работы узлов выполнена с использованием MPI. Скорость обработки одной пары изображений зависит от параметров расчета и производительности процессоров. Типичное время составляет 10 сек, тогда для синхронной обработки потребуется порядка 150 расчетных ядер. При усложнении вычислительного алгоритма характерное время будет возрастать и потребуется большее число ядер.

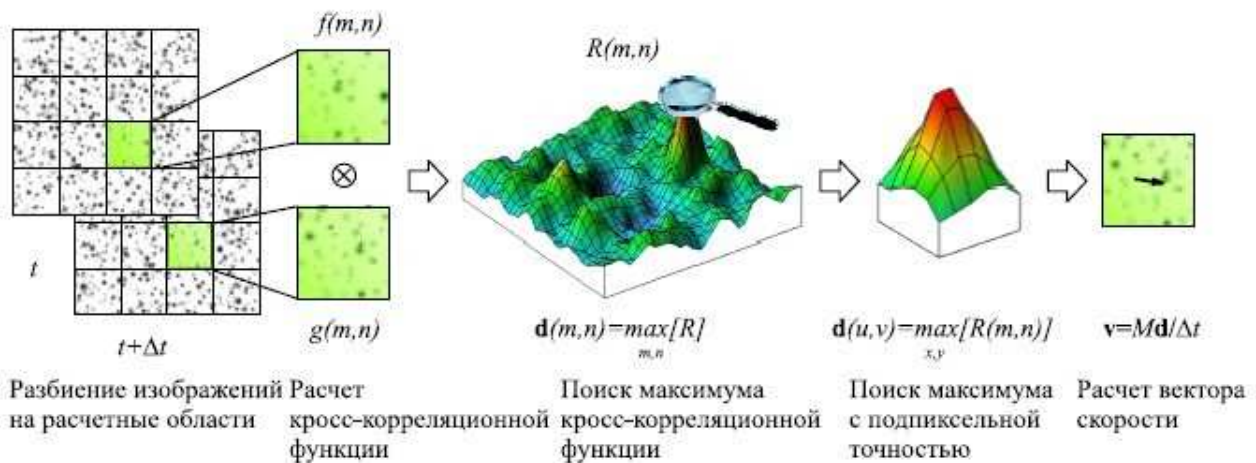


Рис. 2. Стандартный кросскорреляционный метод расчета [3]

Многопроцессорная вычислительная система должна обладать достаточной производительностью для обработки интенсивного потока исходных данных с измерительной установки. Приобретенный за прошлые годы опыт счета на местных системах массового параллелизма (МРР-системах) позволяет перенести счет на практически любую аналогичную, но значительно более производительную систему в России или за рубежом. Поскольку эксперимент предъявляет достаточно высокие требования к коммуникационной части принято решение производить счет в России на суперкомпьютере СКИФ МГУ "ЧЕБЫШЁВ": пиковая производительность - 60 TFlop/s; производительность на Linpack - 47.04 TFlop/s (78.4% от пиковой); число процессоров/ядер в системе - 1250/5000; объём оперативной памяти - 5.5 Тбайт; дисковая память узлов 15 Тбайт

Коммуникации эксперимента "Распределенный PIV". Для выбора протокола и числа организуемых соединений между экспериментальной установкой и вычислителем необходимо оценить их реальную пропускную способность в канале НИВЦ МГУ (Москва) - ИМСС (Пермь). Выбрана относительно простая технология L2-коммутиации 1GE и достаточно быстро был организован этот канал при соучастии нескольких ведомств РФ на безвозмездной основе. Предварительно был создан и выполнены измерения прототипа L2 1GE канала, состоящего из двух компьютеров (Windows XP, клиент/сервер) соединенных последовательно через два коммутатора с гигабитными портами. Измерения производились с помощью снимаемого дампа (windump) по имеющимся в нем меткам времени, утилитой тестирования пропускной способности канала JPerf и программой-сниффером wireshark для детального анализа кадров Ethernet-кадров и TCP-сегментов. Результат

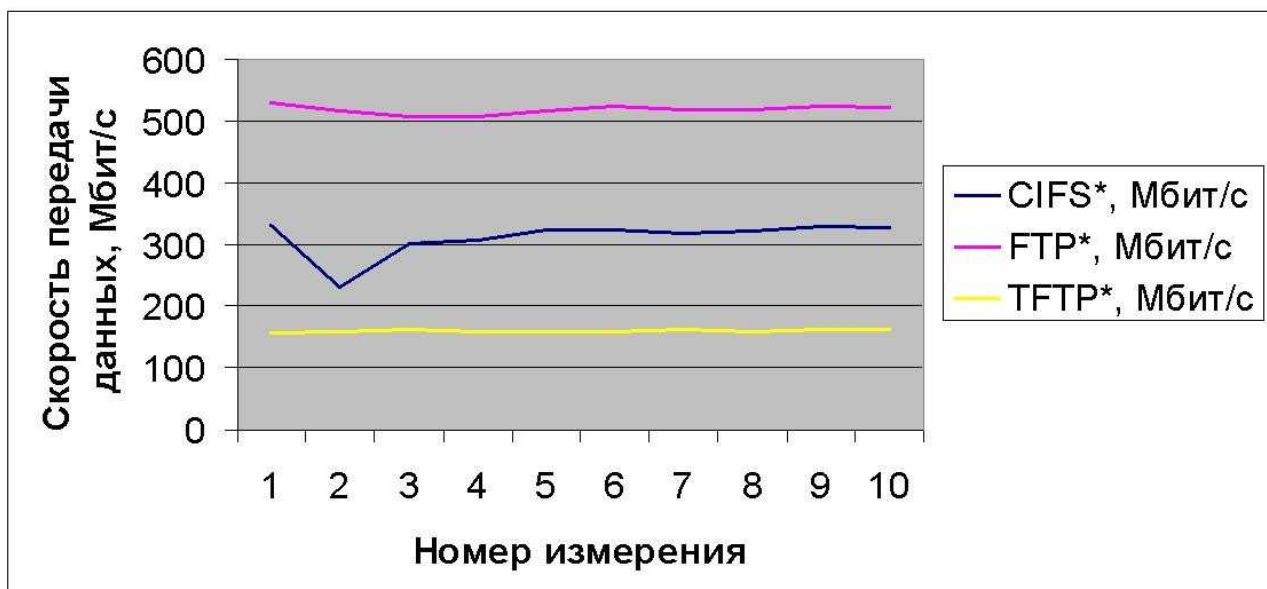


Рис. 3. Результаты измерений прототипа канала

измерений приведены на рисунке 3, и показывают прототипа.

Наибольшую скорость показал протокол FTP (не менее 50% от скорости порта), использующий оконный принцип TCP соединения и адаптирующийся к загрузке сети передачи данных, которая в нашем случае постоянна. Скорость реального канала Москва- Пермь в одном TCP-соединении оказалась на порядок меньше и

потребуется на втором этапе эксперимента внимательной настройки системных параметров коммуникационных протоколов. Подтвердилось предположение о необходимости организации одновременно нескольких соединений от камер измерительной установки до вычислителя. Продемонстрирована необходимость реализации проекта GIGA UrB RAS [5], предоставляющего оптический транспорт для создаваемой киберинфраструктуры УрО РАН на постоянной основе и являющегося составной частью национальной инфраструктуры.

Результаты первого этапа . Выполнены измерения реального потока экспериментальных данных на различных протоколах передачи, сформулированы предложения диспетчеризации входных потоков для систем пакетной обработки суперкомпьютера. Получены данные для детальной разработки информационной модели системы "Распределенный PIV"

ЛИТЕРАТУРА:

1. Adrian R.J. Scattering particle characteristics and their effect on pulsed laser measurements of fluid flow: speckle velocimetry vs. particle image velocimetry // Appl. Opt. 1984. Vol. 23. P. 1690-1691.
2. Г.П. Богатырев, И.В. Колесниченко, Г.В. Левина, А.Н. Сухановский. Лабораторная модель процесса образования крупномасштабного спирального вихря в конвективно-неустойчивой вращающейся жидкости // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2006, том 42, №4, с. 1-7.
3. М.П. Токарев, Д.М. Маркович, А.В. Бильский Адаптивные алгоритмы обработки изображений для расчета мгновенных полей скорости. Вычислительные технологии, 2007, 12, №3: 109-131
4. Мизёва, И.А.; Степанов, Р.А. & Фрик, П.Г. Вейвлетные кросскорреляции двумерных полей // Вычислительные методы и программирование, 2006, 7, 172-17.
5. Масич А.Г., Масич Г.Ф. Инициатива GIGA UrB RAS // Совместный вып. журнала "Вычислительные технологии" и журнала "Вестник КазНУ им. Аль-Фараби". Серия математика, механика, информатика №3 (58). По материалам Междунар. конф. "Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании". - Казахстан, Алматы.-2008.-Т.13.- Ч. II. -С. 413-418 ISSN 1560-7534.