dmitry@protopopov.ru

protopopov@narod.ru

Аннотация

Новое – это хорошо забытое старое

Проект Линза

Вычисления с использованием оптических устройств

Оглавление

[Об авторе 2](#_Toc425517597)

[Введение 3](#_Toc425517598)

[Вычисления с использованием оптических устройств 5](#_Toc425517599)

[Оценка стоимости вычислений 8](#_Toc425517600)

[Вывод 9](#_Toc425517601)

[Габаритные размеры 11](#_Toc425517602)

[Варианты исполнения 12](#_Toc425517603)

[Список литературы 14](#_Toc425517604)

[Список программного обеспечения 15](#_Toc425517605)

[Дополнительные ссылки 15](#_Toc425517606)

[Справочная информация 16](#_Toc425517607)

# Об авторе

|  |  |
| --- | --- |
| Протопопов Дмитрий | |
| Образование | 1992 Диплом инженера-математика  1999 Диплом экономиста |
| Контактный телефон | +7 916 6969591 |
| Электронная почта | dmitry@protopopov.ru |

# Введение

Вычислительные устройства в настоящее время в большинстве случаев разрабатываются на принципах дискретных вычислений, то есть создаются устройства на основе логических элементов, обрабатывающих данные, представленные в виде двоичных данных, и синхронизируемые таймерами определённой частоты. При этом, поскольку чаще всего двоичным сигналам соответствуют электрические потенциалы высокого и низкого уровня, то при смене состояния бита из 0 в 1 и из 1 в 0 происходит процесс электрического тока, а значит и поглощение электрической энергии, и выделение тепловой энергии. При этом количество выделяемой тепловой энергии микросхемой процессора имеет оценку , где – количество логических элементов процессора, разность потенциалов между 0 и 1, – тактовая частота процессора. Большое количество выделяемой тепловой энергии накладывает существенные ограничения на количество используемых в микросхемах логических элементов и увеличение тактовой частоты. Основной путь, по которому в настоящее время повышают вычислительные возможности микросхем, заключается в минимизации элементов микросхем и их большей плотности, что позволяет снизить требуемую для надёжных вычислений разность электрических потенциалов между 0 и 1, а значит возможность либо повысить тактовую частоту, либо использовать больше логических элементов на одной микросхеме. При этом надо отметить, что, если рассматривать суммарный объём процессора с требуемыми для его стабильной работы радиаторами, то этот объём растёт явно с превышением скорости роста производительности “современных” дискретных процессоров.

Из истории развития вычисленных устройств хорошо известно, что создавались устройства использующие для обработки информации не только вычисления в двоичной логике – например стрелочные сумматоры, основанные на измерении суммарного напряжения, формируемого на резисторе, полученных от двух регулируемых источников тока, - то есть устройства использующие для обработки информации физические свойства материалов и энергий.

Одним из таких способов обработки информации являются известные математические свойства вычисления двумерного преобразования Фурье тонкой линзой при размещении источника и приёмника сигналов в её фокальных плоскостях.

Производство подобных технические устройств является высокой степени наукоёмким производством, поскольку повышение вычислительной эффективности такого устройства будет определяется не столько последующими модификациями компонентной базы, а в большей мере конструированием новых вычислительных алгоритмов, базирующихся на заданной массовой операции, выполняемой за один внутренний такт устройства.

Вычисления с использованием формул дискретных преобразований Фурье имеют широкое применение в различных отраслях - финансах, масс-медиа, безопасности, планирования и прогнозирования и конечно в наукоёмких производствах, связанных необходимостью с моделирования свойств материй и энергий:

* обработка звука и изображений
* распознавание образов
* анализе числовых последовательностей и прогнозировании
* числовых вычислительных методах
* криптографии
* и многих других областях

Также можно разработать программные адаптеры к нижеследующим массовым коммерческим программным продуктам для ускорения вычислений в них

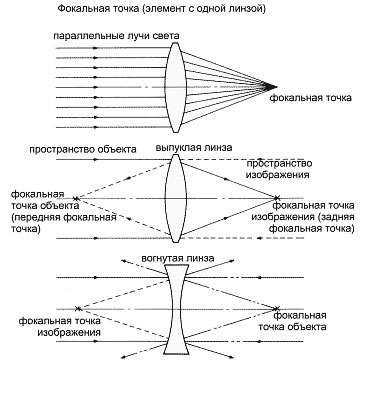
* Adobe Photoshop
* Adobe After Effect
* Autodesk 3D Max
* Adobe Inventor
* SolidWork
* Компас
* Metatrader и другие биржевые торговые терминалы поддерживающих создание торговых роботов
* И другие программные продукты

Несмотря на то, что использование формул дискретного преобразования Фурье в алгоритмах чаще всего даёт более достоверные результаты, но они требуют проведение большого количества вычислений, поэтому разработчикам программ часто приходится отказываться от применение этих формул в пользу иных менее точных методов, но которые можно вычислить на имеющемся компьютерном оборудовании.

**Таким образом, можно достоверно утверждать, что имеется достаточно большой круг платёжеспособных лиц, обладающие крупными финансовыми средствами, заинтересованных в дешёвых компьютерных вычислениях, которые нужно выполнять по формулам дискретного преобразования Фурье.**

# Вычисления с использованием оптических устройств

Рассмотрим простое устройство, состоящее из линзы, матрицы микрозеркал, фотоматрицы и источника света, мощности достаточной для фиксации изображения на фотоматрице, собранном в едином корпусе с внутренней средой, имеющей постоянные оптические характеристики – например, из стекла или полимера - и состоящем из современных бытовых микросхем, продаваемых розничными сетями электронных компонент.



1. Источник света
2. Фотопроектор
3. Светопреломляющая линза
4. Фотоприёмник

На собранном таким образом устройстве становится возможным производить обработку данных, при этом обработкой информации является известные математические свойства вычисления двумерного преобразования Фурье тонкой линзой при размещении источника и приёмника сигналов в её фокальных плоскостях линзы.

При использовании фотоматриц и проекторов, соответствующих Full HD 1920 \* 1080 50Hz и скорости чтения-записи данных в пиксели проектора и фотоматрицы ~1GB/s (при использовании 4-х байт для хранения чисел с плавающей точкой) одна пара проектор-фотоматрица за один цикл записи-экспонирования-считывания данных выполнят объём вычислений, для которых потребовался бы дискретный процессор с вычислительной производительностью ~1GFlops, поэтому будем говорить что ожидаемая вычисленная производительность такого оптического устройства составит ~1GFlops.

Для получения данных цифр использовались следующие факты и формулы:

* из курса математики известно, что для вычисления дискретного преобразования Фурье функции, заданной в n точках с помощью алгоритма Быстрого преобразования Фурье, требуется не менее n\*log2n элементарных математических операций. А соответствующее двумерное преобразование может быть выполнено справа отдельно по каждой строке, а затем отдельно по каждому столбцу, то есть для таблицы размера mxn требуется не менее mn\*log2n+ mn\*log2m операций. Поскольку 210=1024<1920 и 210=1024<1080, соответственно, эквивалентная вычислительная производительность оптической системы составит не менее 1920\*1080\*10\*50=~1GFlops (умножение на двойку не производилось, чтобы избежать возможной неправильной оценки производительности связанного с полукадрами в форматах телевизионного сигнала).
* Для обеспечения указанной пиковой производительности необходимо заполнять-считывать значения всех пикселей на проекторе и с фотоматрицы с указанной частотой, то есть 2\*1920\*1080\*50\*4=~1GB/s.

Приведённая схема не ограничивает способы применения оптических преобразований.

Так, например, добавление в указанную схему на пути следования оптического сигнала различных фильтров, которые блокируют или отклоняют световые лучи, имеет оценку роста эквивалентной вычислительной производительности . При одновременном использовании фотоматриц и проекторов эквивалентная производительность системы увеличивается с оценкой не менее .

Таким образом, если одновременно оптических блок используется фотоматриц, проекторов и фильтров рост эквивалентной производительности имеет оценку , а потребляема энергия растёт с оценкой не более .

Изменение требуемой скорости передаваемых-получаемых данных для обеспечения максимальной вычислительной производительности при этом так же имеет оценку .

Таким образом считают, что с точки зрения использования массово доступного оборудования и микросхем в настоящее время наиболее оптимальным решением будет использование по 8 проекторов, фотоматриц и оптических фильтров, соответствующих Full HD 1920 \* 1080 50Hz, и сетевой картой Ethernet 10GB/s на один оптический блок. При этом будет незначительная разнице между теоретически максимальной вычислительной производительностью и требуемой скоростью обмена данными в данном случае.

Требуемая скорость обмена данными у сетевой карты оптического блока может быть уменьшена за счёт кэширования данных при выполнении типовых операций с использованием дискретных преобразований Фурье, таких как, например, операция вычисления свёртки двух функций.

Операция свёртки двух функций вычисляется следующим алгоритмом с применением преобразования Фурье:

1. Для каждой функции применяется преобразование Фурье
2. Полученные образы поэлементно умножаются
3. К полученному произведению применяется обратное преобразование Фурье

Как видно из указанного алгоритма фактически надо передать на сетевой 2 раза данные, 1 раз считать и 1 раз поэлементно перемножить два массива чисел с плавающей точкой на процессоре оптического блока, в случае кэширования данных, или без использования кэширования потребуется произвести 3 записи, 3 чтения полного массива пикселей и 1 раз поэлементно перемножить два массива чисел с плавающей точкой на процессоре основного компьютера. То есть в данном случае требования к пропускной способности сетевой карты в 2 раза меньше.

# Оценка стоимости вычислений

Стоимость любой вычислительной системы складывается из постоянных и переменных затрат за период эксплуатации системы. Под постоянными затратами как правило понимают стоимость компонент на момент их приобретения, а под переменными расходы, связанные с выполнением вычислений.

Чтобы правильно произвести сравнение постоянных и переменных затрат их приводят к единому параметру – количеству операций в секунду.

Поскольку оптические преобразования представляют собой вычисления с действительными числами (интенсивностью освещённости пикселей фотоматриц), то в качестве единицы для сравнения берем миллиард операций с плавающей точкой в секунду (GFlops).

Для оценки постоянных затрат используем дробь Розничная цена / Производительность

Для оценки переменных затрат используем дробь Потребляемая энергия / Производительность

По состоянию на ноябрь 2014

|  |  |
| --- | --- |
| Тип процессора | Xeon E5 |
| Производительность | ~200GFlops |
| Розничная цена | ~1000USD |
| Выделяемая тепловая энергия | ~135W |
| Розничная цена / Производительность | ~5USD/ GFlops |
| Потребляемая энергия / Производительность | ~0.75W/ GFlops |

При использовании одной оптической пары, соответствующих Full HD 1920 \* 1080 50Hz ожидаемая эквивалентная производительность составит ~1GFlops для одной пары вычисления двумерного преобразования Фурье тонкой линзой

Если одновременно в оптическом блоке используется фотоматриц, проекторов и фильтров рост эквивалентной производительности имеет оценку , а потребляема энергия растёт с оценкой не более .

Изменение требуемой скорости передаваемых-получаемых данных при этом так же имеет оценку .

По состоянию на апрель 2015

Розничная цена фотоматрицы, соответствующей Full HD 1920 \* 1080 50Hz ~25USD

Розничная цена микрозеркального проектора, соответствующего Full HD 1920 \* 1080 50Hz ~100USD

Информация анализировалась из прайс-листов иностранных оптовых продавцов электронных компонент с использованием Интернет

При этом следует отметить, что фотоматрицы и проекторы продаются в основном в составе уже готовых импортируемых устройств (фотоаппаратов, видеокамер, видеопроекторов и т.д.), очень редко покупаются в отдельности от готового устройства, их розничная цена почти сопоставима со стоимостью готового устройства в сборе, что позволяет утверждать, что эти розничные цены продаваемых по-отдельности микросхем многократно превышают их книжную себестоимость, чтобы обеспечить финансовую рентабельность продаж микросхем поштучно.

## Вывод

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип процессора | Xeon E5 |  |  |
| Фотоматриц, проекторов, фильтров, соответствующих Full HD 1920 \* 1080 50Hz |  | 1 | 8 |
| Производительность | ~200GFlops | ~1GFlops | ~512GFlops |
| Розничная цена | ~1000USD | ~150USD | ~3000USD |
| Выделяемая тепловая энергия | ~135W | ~0.1W | ~1W |
| Розничная цена / Производительность | ~5USD/ GFlops | ~150USD/ GFlops | ~6USD/ GFlops |
| Потребляемая энергия / Производительность | ~0.75W/ GFlops | ~0.1W/ GFlops | ~0.2W/ GFlops |

По состоянию на 2015 год вычислительные системы на основе оптических систем имеют сопоставимую с классическими системами оценку постоянных затрат и огромный выигрыш по стоимости переменных затрат.

Дальнейшее развитие электроники сделает вычислительные системы на основе оптических систем экономически выгодными не только с точки зрения переменных затрат в процессе эксплуатации, но и с точки зрения постоянных затрат на момент приобретения.

При проведении оценки стоимости оптических блоков рассматривались обычные компоненты, предназначенные для применения в бытовых и офисных видеопроекторах и в бытовых видеокамерах.

То есть оценка стоимости здесь была произведена только для одной из возможных комбинаций комплектующих, используемых в бытовой видеотехники и не является окончательной. Более полный анализ присутствующих на рынке компонент и цен на них несомненно позволит спрогнозировать более дешёвую себестоимость вычислений.

При этом

* в качестве источника света могут использоваться несколько различных типов источников света (светодиодные, лазерные, ксеноновые и т.д.),
* в качестве проекторов и фильтров-транспарантов могут быть использованы любые типы светопреломляющих, светопоглощающих устройств (микрозеркала, жидкие кристаллы, электронные чернила и т.д.)
* в качестве фотоматриц могут быть использованы любые типы производимых фотоматриц
* в качестве внутренней среды и материала линзы могут быть использованы любые типы оптически проницаемых сред – вакуум, газ, полимеры, стёкла
* в большинстве случаем электрическая схема для управления проекторами и фотоматрицами уже содержится на самих этих кристаллах микросхем.
* Оптический блок не содержит движущихся компонент, может быть выполнен в виде одного монолитного блока, и не требует дополнительного обслуживания.
* Сборка может производится вручную.
* Возможные технические отклонения, допуски, припуски, люфты при сборке могут быть компенсированы внесением корректировок в программное обеспечение управления оптического блока при калибровке.
* Для сборки оптического блока требуются обычные навыки сборки и ремонта бытовой видеоаппаратуры.

**Все указанные типы компонент имеют различные технические характеристики – по стоимости, по светочувствительности, по быстродействию, по энергозатратности, по точности, по типам корпусов, по сроку эксплуатации, по стране изготовления и требуют дополнительного анализа для оценки стоимости вычислений при заданной комбинации компонент.**

# Габаритные размеры

По состоянию на апрель 2015 геометрические размеры микросхем фотоматрицы и микрозеркальные проекторы соответствующих Full HD 1920 \* 1080 50Hz как правило не превышает размера 1x1 дюйм (2.5x2.5 см) – что соответствует требованиям к размерам бытовой видеотехники.

Таким образом габаритные размеры устройства из 16 фотоматриц и проекторов, соответствующих Full HD 1920 \* 1080 50Hz не превысят размеры эквивалентного по производительности Xeon E5 с учётом требуемых для него радиаторов охлаждения.

Можно также утверждать, что постоянный рост плотности размещения элементов на микросхемах процессоров будет также линейно соотносится с ростом плотности размещения элементов на фотоматрицах и микрозеркальные проекторах, а значит оптическое устройство собранное из “современных” компонент в фиксированных геометрических размерах, будет иметь оценку вычислительной мощности не хуже, а может и лучше, чем “современные” классические дискретные процессоры с теми же геометрическими размерами (конечно, с учётом радиаторов охлаждения).

При этом количество энергии, необходимое для засветки фотоматриц будет оставаться минимальным, и возможно будет уменьшаться за счёт увеличения чувствительности пикселей фотоматриц в будущем.

Возможны различные способы компоновки лампы, проекторов, фильтров, линз, фотоматриц, при этом средний объём блока приблизительно составит 2\*N\*L3 , где N – количество компонент, L – ширина одной компоненты. То есть при среднем размере каждого элемента ~1x1 дюйм (2.5x2.5 см) и количестве элементов ~50 объём блока не превысит 100 дюймов3 или 1500 см3 – этот размер приблизительно соответствует объёму корпуса дорогой видеокарты ПЭВМ или объёму занимаемым процессором ПЭВМ с установленным радиатором охлаждения.

# Варианты исполнения

Предлагается изготовление оптического блока в низкопрофильном корпусе с возможностью размещения в компьютерной стойке 19'.

Внешний корпус должен иметь:

1. Один или несколько оптических блоков
2. Платы управления лампами, проекторами, фильтрами и фотоматрицами
3. Плату внутреннего управления со встраиваемой операционной системы.
4. высокоскоростные порты обмена данными форматов Ethernet/TCP/IP (базовый вариант) или оптоволоконное соединение (перспективный вариант).
5. Блок питания

В качестве внутреннего блока управления можно использовать недорогие одноплатные встраиваемые компьютеры уже содержащие на плате высокоскоростные порты Ethernet. В тоже время было бы желательно чтобы внутренний блок управления имел возможность производить быстрый обмен данными между внутренней памятью и микросхемами проекторов, фильтров, фотоматриц, сетевыми адаптерами, а также имел возможность выполнять простые однотипные математические операции между элементами массивов во внутренней памяти – то чем обладают видеокарты при манипулировании данными в видеопамяти. То есть фактически желательно наличие у данного одноплатного компьютера более-менее качественной видеокарты.

В качестве встраиваемой операционной системы предлагается использовать OpenEmbedded, как систему со свободной лицензией на основе Linux если не будет принято решение о выборе основного поставщика программного обеспечения.

В случае использования микросхем, применяемых в бытовой технике, возможна значительная экономия финансовых средств, временных и трудовых ресурсов на разработке и сопровождении программного обеспечения, поскольку сами производители бытовой техники бесплатно предоставляют и сопровождают программные адаптеры (драйверы) для этих микросхем.

Выбор в качестве интерфейсы обмена данными формата Ethernet/TCP/IP позволит

1. Обеспечить необходимую скорость обмена данными
2. Иметь GDI блока на основе web-сервера
3. Низкая цена микросхем протокола и стоимость разработки программного обеспечения
4. Независимость от появления новых типов разъёмов и протоколов в ближайшем будущем
5. Упрощает физическое соединение нескольких блоков в вычислительный грид с использованием стандартного сетевого оборудования – например – с помощью управляемых сетевых переключателей с возможностью монтирования в компьютерную стойку и широко присутствующих в розничных продажах.
6. Возможность явно на физическом уровне создавать топологию грида соединением устройств сетевым кабелем или управляемым сетевым коммутатором.
7. Возможность совместного доступа к оптическому вычислительному блоку с различных сетевых рабочих станций рабочей группы.

Преимущества использования внешнего корпуса:

1. Независимость от типа используемого основного компьютера (ПЭВМ, мэйнфрейм), используемой на основном компьютере шины данных для подключаемых слотов.
2. Независимость от типа используемой операционной системы на основном компьютере
3. Возможность разместить независимую систему управления лампой, проектором, фотоматрицей, буферизацию данных и т.д.
4. Возможность разместить дополнительные системы охлаждения, стабилизации температуры или среды.

Недостатки использования внешнего корпуса:

1. Необходимость иметь дополнительную электронную обвязку для обмена данными с основным компьютером
2. Необходимость иметь дополнительный источник электропитания
3. Увеличение временных задержек при обработке данных в связи с пересылкой данных между основным компьютером и внешним блоком.

# Список литературы

1. Старк Г. (Ред.). Применение методов фурье-оптики. Пер.с англ. 1988. Твердый переплет. 536 с. ISBN 5-256-00051-9
2. Магурин В.Г., Тарлыков В.А. Когерентная оптика. Учебное пособие по курсу «Когерентная и нелинейная оптика». - СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. -122 с.

# Список программного обеспечения

1. <https://github.com/dprotopopov/FFTTools>
2. <https://github.com/dprotopopov/fftzoomer>
3. <https://github.com/dprotopopov/fftblinder>
4. <https://github.com/dprotopopov/mssove2>
5. <https://github.com/dprotopopov/vocoder>

## Дополнительные ссылки

1. <http://www.fftw.org>
2. <http://www.emgu.com>
3. <http://opencv.org>
4. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>
5. <https://github.com/tszalay/FFTWSharp>
6. <https://github.com/naudio/NAudio>

# Справочная информация

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Линза>
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотоматрица>
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Проектор>
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Шина_(компьютер)>
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Оптические_материалы>