

ОПТИЧЕСКИЕ КОМПЬЮТЕРЫ

Новые направления в разработке
компьютеров

Научные достижения, способствовавшие развитию отрасли

- достижения в области Фурье-оптики (Нобелевская премия 1953 г., Ф. Цернике)
- создание оптических квантовых генераторов и усилителей – лазеров (Нобелевская премия 1964 г., А. М. Прохоров, Н. Г. Басов, Ч. Таунс)
- изобретение и разработка голографического метода (Нобелевская премия 1964 г., Д. Габор)

Оптика против кремния

- возможность использовать совершенно разные среды передачи, хранения и обработки информации;
- возможность обработки информации во время ее передачи через оптическую систему, которая реализует вычислительную среду;
- возможность передавать информацию, которая закодирована оптическим лучом, практически без потерь энергии;
- отсутствие вероятности перехвата информации (по оптической технологии в окружающую среду ничто не излучается).

Основы оптических процессоров

Фильтрация

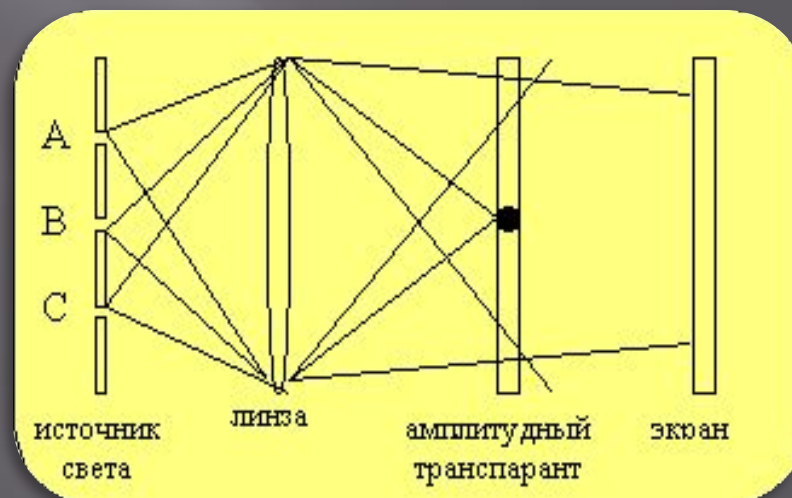
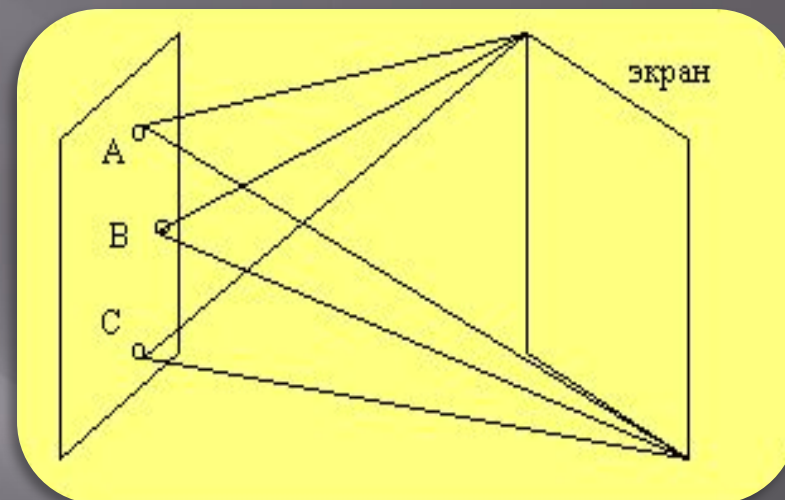
Экспериментальная установка:
ширма с тремя источниками
света А, В и С, экран

Задача:

как сделать, чтобы на экран
попадал свет только от
источников А и С?

Решение:

поставим на пути света линзу
(фазовый транспарант) и
амплитудный транспарант-
фильтр (пластинку с
непрозрачным участком
напротив изображения В).

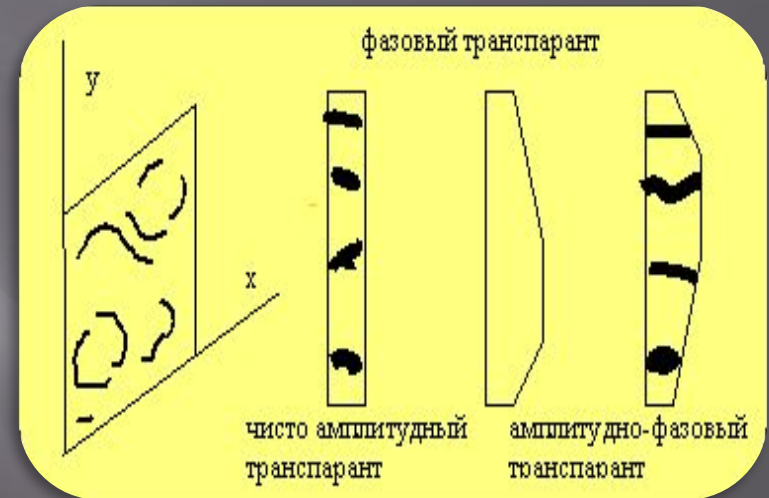


Транспарант

Существует возможность кодирования информации путем изменения амплитуды и фазы луча во времени и в пространстве. Формой реализации этой идеи является оптический элемент, называемый транспарантом.

Физически это кусочек прозрачного материала, на который каким-либо способом нанесено изображение – пространственное (в координатах, связанных с транспарантом) распределение коэффициента поглощения, коэффициента преломления (или толщины) или же того и другого одновременно.

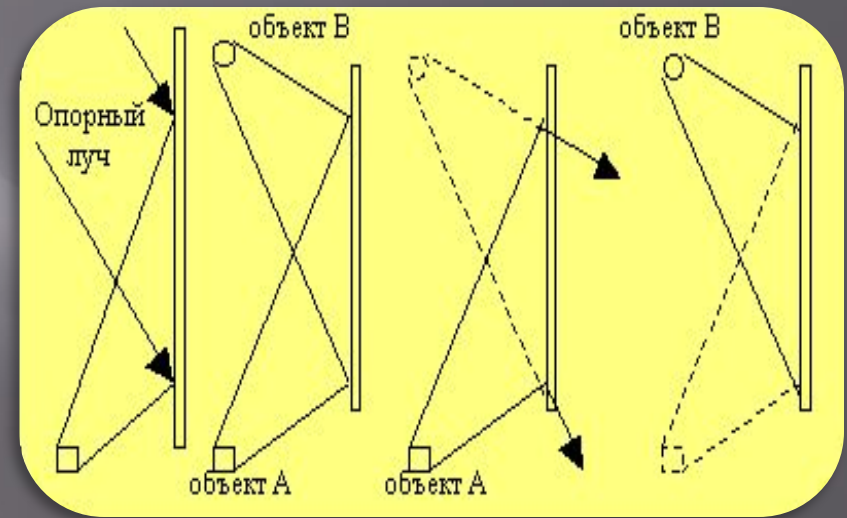
Транспаранты можно изготавливать на базе технологий, позволяющих управлять оптическими свойствами вещества (жидкие кристаллы или электрооптические материалы), что дает возможность помимо пространственной модуляции осуществлять еще и временную.



Голография

Принцип обратимости голограмм: голограмма любого объекта, записанная при наличии опорного пучка, восстанавливает изображение объекта при освещении опорным пучком, но при освещении ее светом объекта «восстанавливает» опорный пучок.

Аналогично голограмма объекта А, записанная при использовании в качестве опорного пучка свет от объекта В, восстанавливает в свете одного из них изображения другое, и наоборот.



Элементная база

Реализация многовходовой функции ИЛИ-НЕ / И-НЕ с помощью линзы L и порогового устройства-инвертора N.

Оптический процессор, преобразовывающий входной вектор-строку в выходной вектор-столбец:

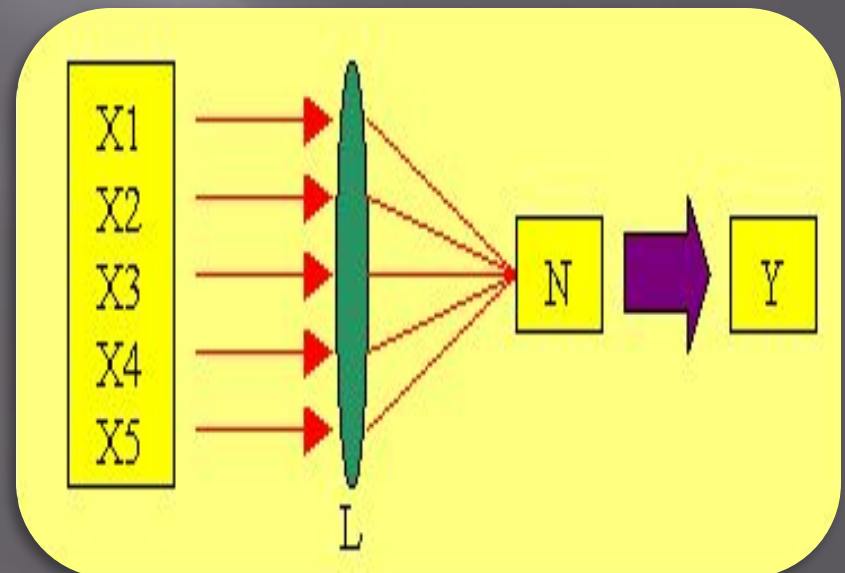
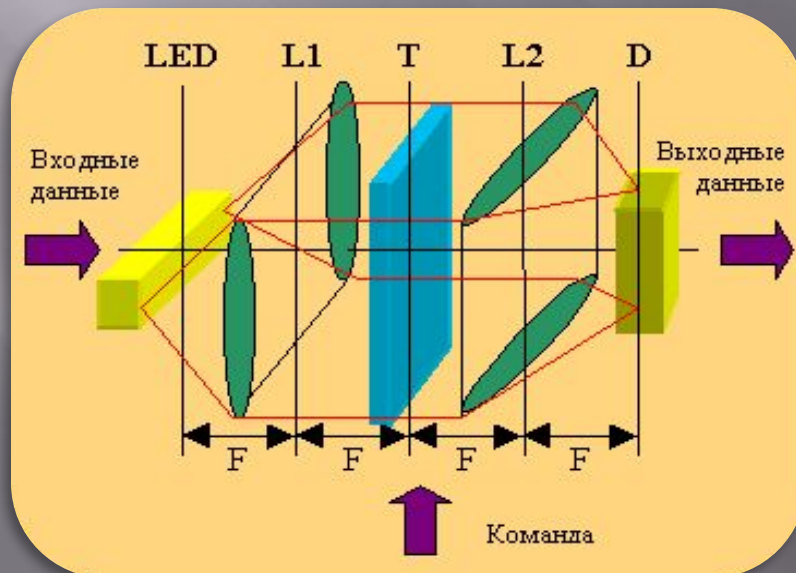
LED – линейка светоизлучающих диодов;

L1, L2– цилиндрические линзы;

T – оптический транспарант с записанной на нем матрицей пропускания $T(i, j)$;

D – многоэлементный фотоприемник.

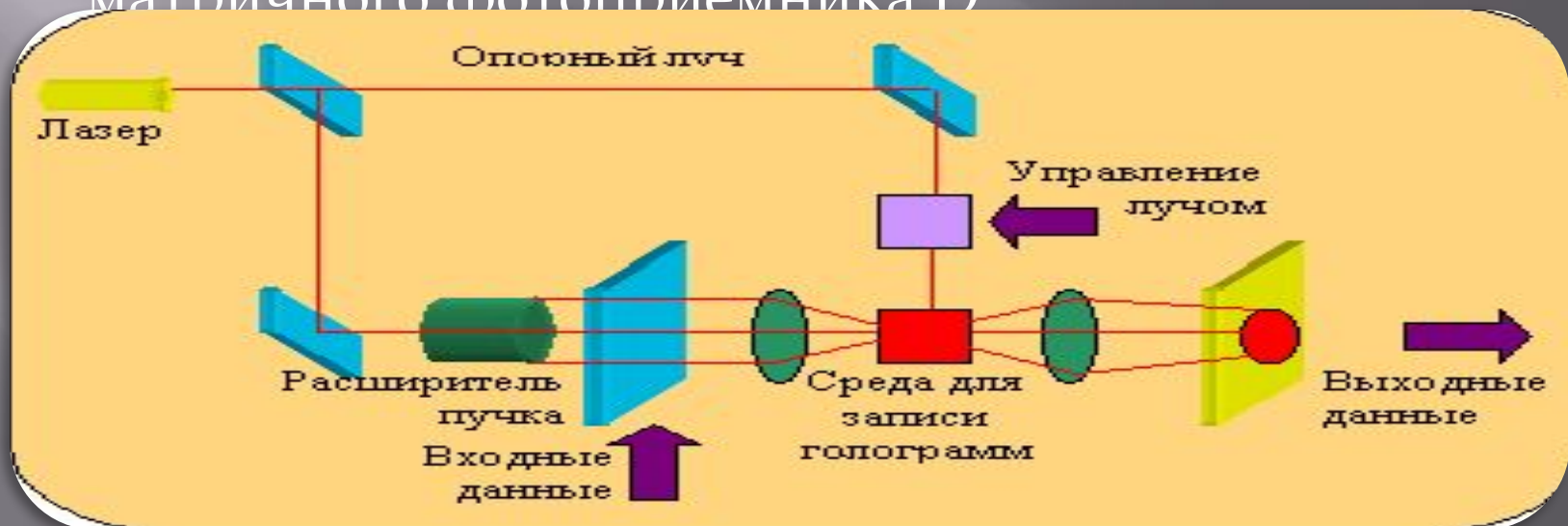
Входной X и выходной Y вектора связаны линейным преобразованием: $Y = TX$.



Голографическая память

Примерное устройство памяти с объемной голографической средой.

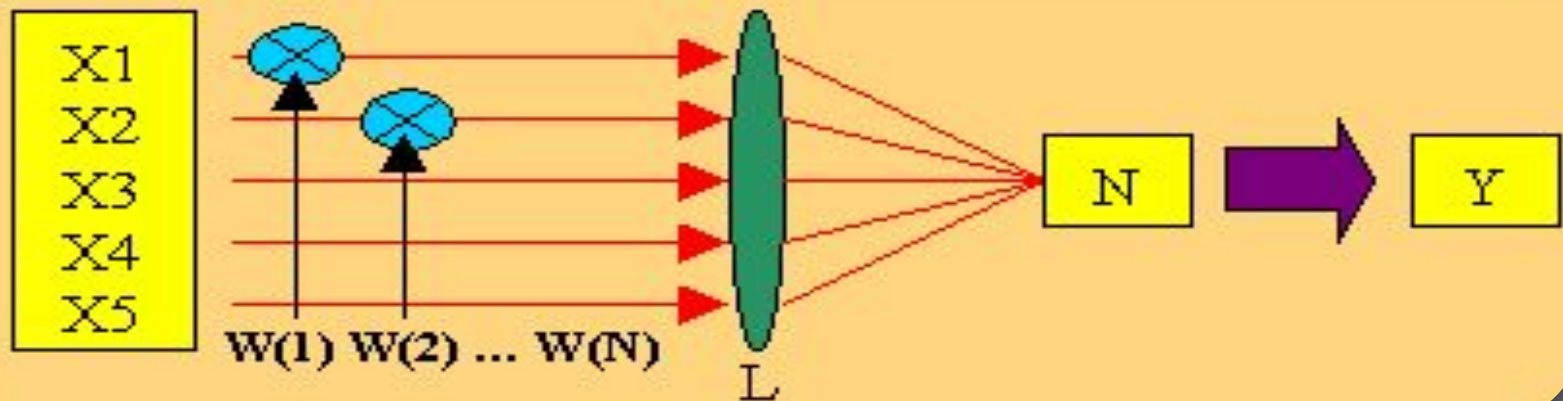
Ввод информации осуществляется с помощью управляемого оптического транспаранта. Адресацией при записи-считывании управляет опорный луч. Считываемая информация фокусируется в плоскости многоэлементного матричного фотоприемника D



Оптические нейросети

Если схему многовходовой функции ИЛИ-НЕ / И-НЕ снабдить транспарантом, пропускание которого задано значениями весовых коэффициентов $W(i)$, получим простейшую модель нейрона – персептрон.

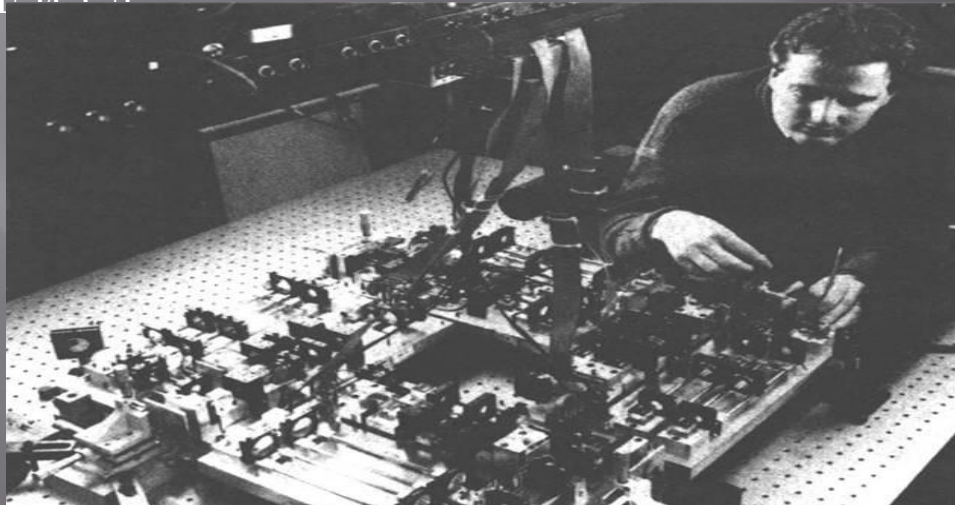
Эту схему можно рассматривать как слой нейронов. Для этого элементы фотоприемника должны иметь пороговую передаточную характеристику, а транспарант должен задавать таблицу весовых



Первые оптические компьютеры

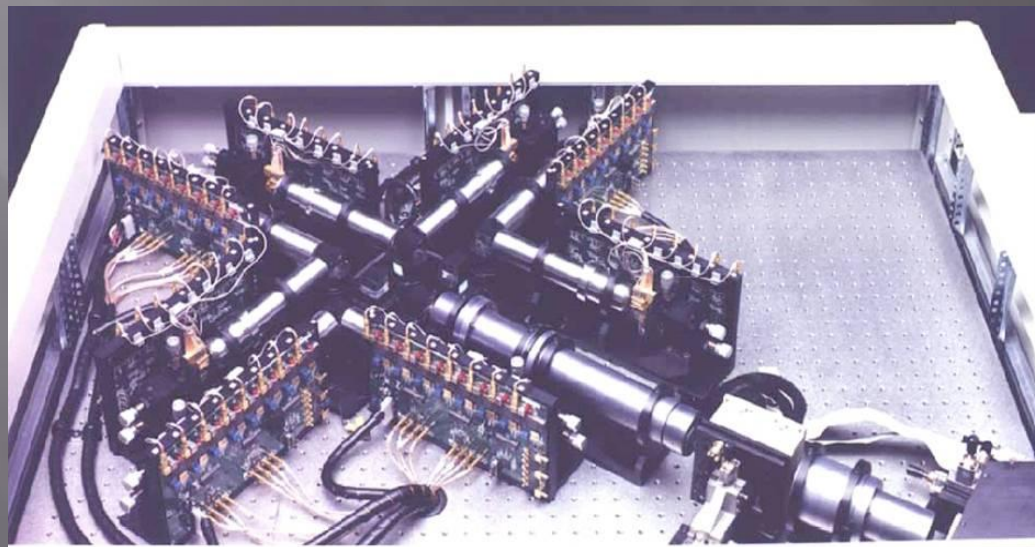
Bell's computers

Как уже отмечалось, в 1990 году компания Bell (Bell Labs) создала макет первого оптического компьютера. В основе процессора были положены двухмерные матрицы бистабильных полупроводниковых элементов со множествами квантовых ям. Эти элементы обладали электрооптическими свойствами (в англоязычной литературе ты можешь встретить аббревиатуру SEED - self-electro-optic-effect devices). Освещение элементов производилось полупроводниковым лазером через голографическую решетку Даммена. Мощность излучения лазера составила 10 мВт, длина волны – 850 нм. Свет проходил через один диод, в цепи возникал ток, что в свою очередь приводило к падению напряжения на структуре решетки и к повышению пропускания света через вторую структуру. Так возникала обратная связь и совокупность элементов образовывала логические ячейки ИЛИ-И, ИЛИ-НЕ и т.д.



Второе поколение было представлено компьютером DOC-II (digital optical computer).

Поток данных в компьютере DOC-II излучали 64 модулируемых лазерных диода, длина волны каждого составляла 837 нм. Свет от каждого диода отображался на одну строчку матричного пространственного модулятора, общий размер которого составлял 64 128 элементов. Отдельный элемент матрицы - это не что иное, как брэгговская оптическая ячейка (на основе GaP). Свет, который выходит из модулятора, попадает на целый ряд фотодиодов (128 штук). В секунду компьютер может сделать 0,8192 переключения, при этом на одно переключение затрачивается 7,15 фДж, или около 3000 фотонов.



High Performance Optoelectronic Communication

В настоящее время ведутся работы по созданию интегрального модуля оптического компьютера. Компьютер будет называться High Performance Optoelectronic Communication - НРОС. Его опытная модель уже создана.

В новом компьютере планируется использовать входную матрицу с вертикально расположенными лазерными диодами. Диоды будут соединяться волноводами и обычной оптикой, оснащенной матрицами переключения, на основе дифракционных оптических элементов. Выходная система будет состоять из матрицы фотодиодов, совмещенной с входной матрицей. В модуле используются технологии оптического межсоединения организованы с помощью свободного распространения световых пучков. В итоге получается квазичетырехмерная структура. Уже создана опытная система, которая показывает скорость 10^{15} операций в секунду, причем использует энергии всего 1 фДж на переключение (по сравнению с ДОС-II - там 7 фДж).

EnLight 256

Единственный существующий сейчас коммерческий оптический процессор EnLight 256, созданный фирмой Lenslet, уже можно купить. Этот процессор является первым оптическим DSP (Digital Signal Processor), который в три раза превосходит лучшие электронные DSP. Если говорить точнее, EnLight256 - это гибридный оптический процессор, содержащий преобразователи. Создать полностью оптический компьютер пока слишком дорого. Простая замена ядра с сохранением всех остальных электронных компонент позволяет получить огромный прирост производительности.

Ядро этого процессора - оптическое, а входная и выходная информация представляется в электронном виде. Ядро состоит из 256-ти VCSEL-лазеров, пространственного модулятора света, набора линз и приемников. Производительность процессора составляет 8 триллионов операций в секунду: за один такт (8 нс) процессор умножает 256-байтный на матрицу 256x256. Организация технологии Lenslet позволяет использовать лучшее из оптического и электрического мира.



Вывод

Проблемы оптических компьютеров

- ▣ недостаточное финансирование проектов;
- ▣ продолжающийся рост характеристик компьютеров на основе традиционной технологии;
- ▣ проблема интеграция отдельных компонентов;
- ▣ высокая стоимость технологий и материалов.
- ▣ сложные технологии разработки и создания материалов