



# Изкуствен интелект

**Тема 19: Дълбоки невронни мрежи (DNN), Конволюционни невронни мрежи (CNN). Основни принципи, архитектури.**

# Съдържание

- Въведение
- Понятие за DNN

# Въведение - терминология

■ Перцептрон

■ Многослойни невронни мрежи

■ Подобро обучение

Дълбоки невронни мрежи

■ Deep Learning

■ Deep Neural Networks

■ Deep Structural Learning

■ Deep Belief Networks

1960s

1980s

1990s

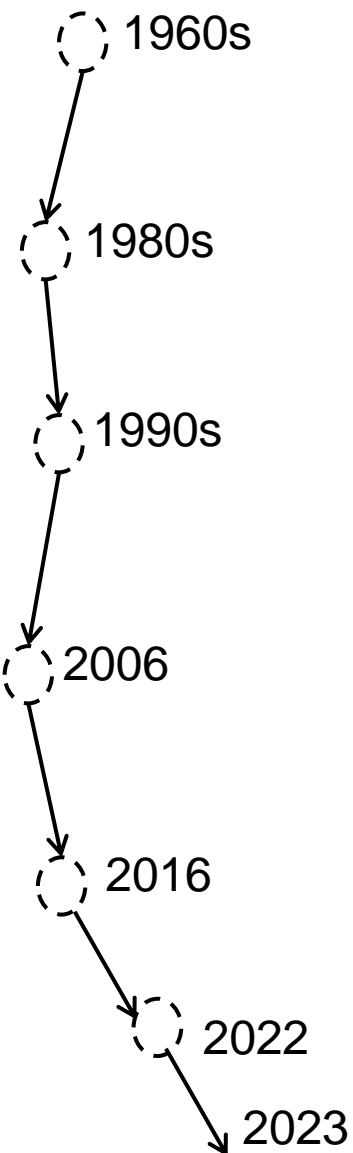
2006

2016

2021

2023

# Въведение - терминология



## Какво всъщност е това DL?

Защо е толкова широко използвано за задачи свързани с обработка на аудио, видео, текст и някой други типове данни?

Защо се наложи мнението, че това е голям пробив ?

## Кратък отговор:

Модерно е защото в последните 7-8 години печели световните състезания за machine learning за разпознаване на изображения, аудио, ...

Приложения: Създава картини, поеми, общува, ChatGPT-3, 3.5 -- текст

GPT-4 с "по-напреднали умения за разсъждение", Мултимодален, NoCode, GPTs, Bard (with Gemini) ...

# Въведение - терминология

## Други възможни кратки отговори:

- От десетилетие Гугъл, Майкрософт, Амазон, Мета и други големи VC инвеститори харчат десетки милиарди долари за придобиване на контрол върху по-малки високотехнологични компании: DeepMind, DNNResearch, Enlitic, Ersatz, MetaMind, Nervana, Skylab, OpenAI...
- От 2008 Numenta а по-късно и NVIDIA, IBM, Google, Microsoft, OpenAI и др. предлагат отворен код, модели, ...
- В наши дни лесен достъп до множество DL платформи, библиотеки, демо-та, инструменти – TensorFlow-Keras (Google), Caffe (UBerkeley), OpenVINO (Intel), Torch-PyTorch-FastAI (Meta), MXNet (MS, Amazon, CMU, UW)...
- ... а също и: Chainer (динамични графове), Caffe (бързина), CNTK (Microsoft Cognitive Toolkit), Deeplearning4j (бизнес среда)
- ... стандартизация -- ONNX (Open Neural Network Exchange) –стандарт за ML модели осигуряващ оперативна съвместимост м/у платформите
- Python, Mojo, Scala ...
- Медийна пропаганда...

# Въведение - терминология

## *Защо едва сега?*

- Военна индустрия, бизнес-интерес от големите корпорации
- Достъпност на ресурси - големи масиви от данни
- Достъпността на мощни изчислителни средства (GPU, multicore, WS, високопроизводителни изчислителни комплекси, super computers)
- Достъпност на open-source софтуер, множество инструменти на различни производители и езици за програмиране
- Медийна пропаганда ...



# Лидери в DL технологиите

1	Chips & hardware	NVIDIA  Google  QUALCOMM  IBM  amazon  Apple  Microsoft  intel  GRAPHCORE  SAMSUNG  AMD
2	Platform & infrastructure	Google Cloud Platform  amazon web services™  Microsoft Azure  Alibaba Cloud aliyun.com  IBM Cloud
3	Frameworks & algorithms	IBM  amazon  Microsoft  Google  f  Bai du Conversational agents**  MindMeld  SoundHound  NLP & Semantics LEXALYTICS  Core Algorithms DeepMind vicarious Numenta  Vision clarifai captricity
4	Enterprise Solutions	IBM  ORACLE  salesforce  SAP  Microsoft Customer Management  DigitalGenius  HR & Talent  Marketing & Sales  RPA, Other  Intelligence & Analytics  Cybersecurity  Tools  Consultants ZipRecruiter  workday  sense  blueprism  UiPath  Dataminr  DARKTRACE  CYLANCE  PETUUM  SELDON  tamr  KPMG  pwc  accenture  Deloitte
5	Vertical Industry solutions	Healthcare & Life Sciences  TEMPUS  BenevolentAI  babylon  zymergen  DeepMind Finance & Insurance  zest finance  Affirm  NUMERAIR Agriculture  BENSON HILL  FarmersEdge  prospera Automotive  drive.ai  ZOOX  WAYMO Legal & Compliance  Luminance  casetext  onfido  ROSS Industrials, Robotics & Logistics  brain corp  anki  deepvu  LOGILITY  VEKTA
6	Corporates	Healthcare  NHS  gsk Finance & Insurance  AXA  usbank  J.P.Morgan Tech & Telco  Alibaba.com  Microsoft  G  f  a  Bai du Agriculture  MONSANTO  CONAGRA Automotive  Ford  GM Legal & Compliance  ALLEN & OVERY  WHITE & CASE Industrials,  GENERAL ROBOTICS  GE  BOEING Retail, media, other  TARGET  Disney
7	Nations	



# Топ 50 - прогресивни AI концепции



50 Thought Leading Companies on Artificial Intelligence 2023

thinkers  
360



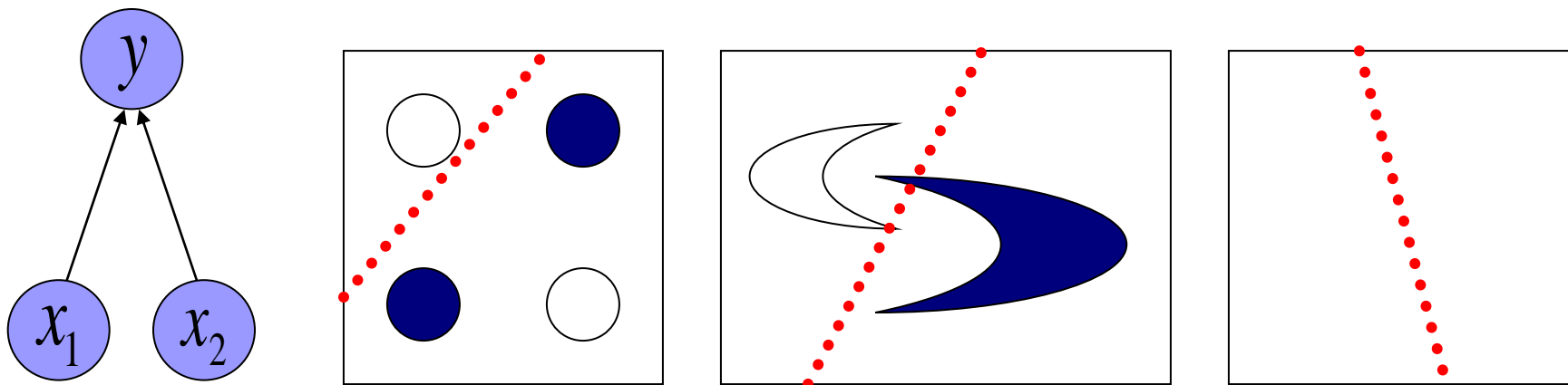


# Въведение в ANN - терминология

Изкуствени невронни мрежи:

- При 0 скрити слоя: линеен класификатор
  - Хипер-равнини

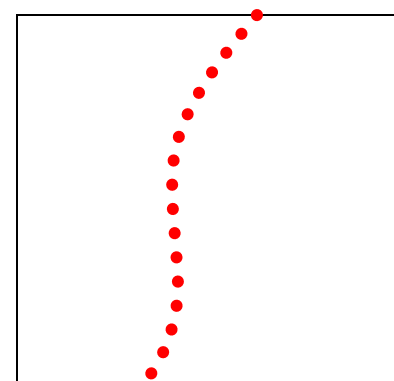
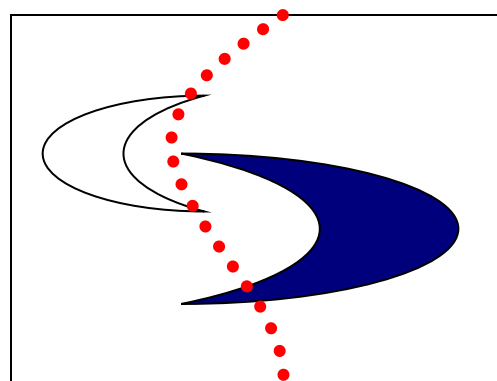
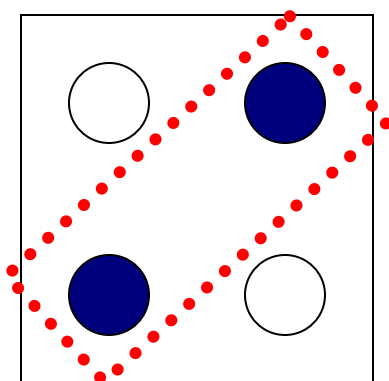
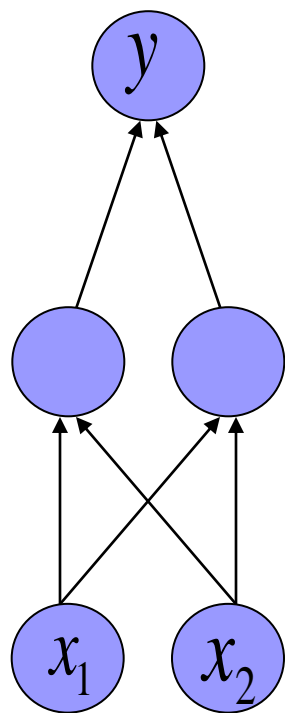
2D пример:



# Въведение в ANN - терминология

Невронни мрежи:

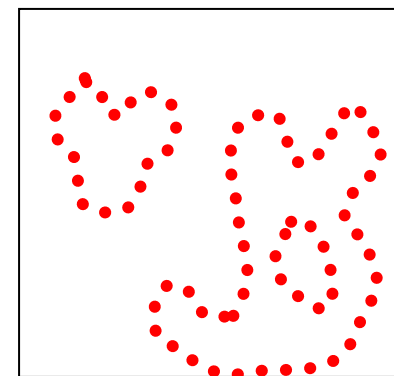
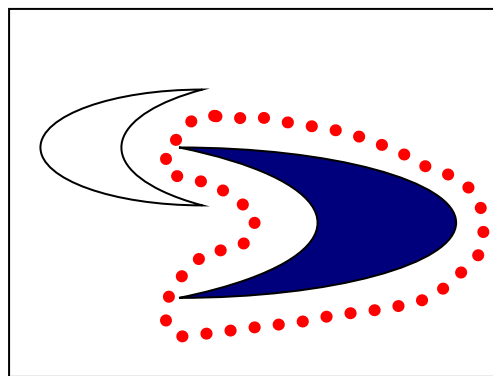
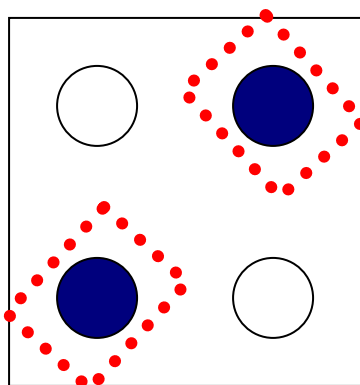
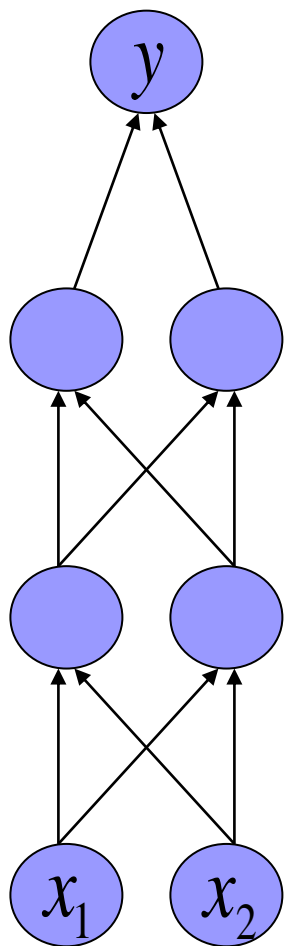
- При 1 скрит слой
  - Граница на конвексна област (отворен или затворен контур)



# Въведение в ANN - терминология

Невронни мрежи:

- При 2 скрити слоя
  - Комбинации от конвексни области



# Разпознаване на цифри, написани от човешка ръка (ръкописни)

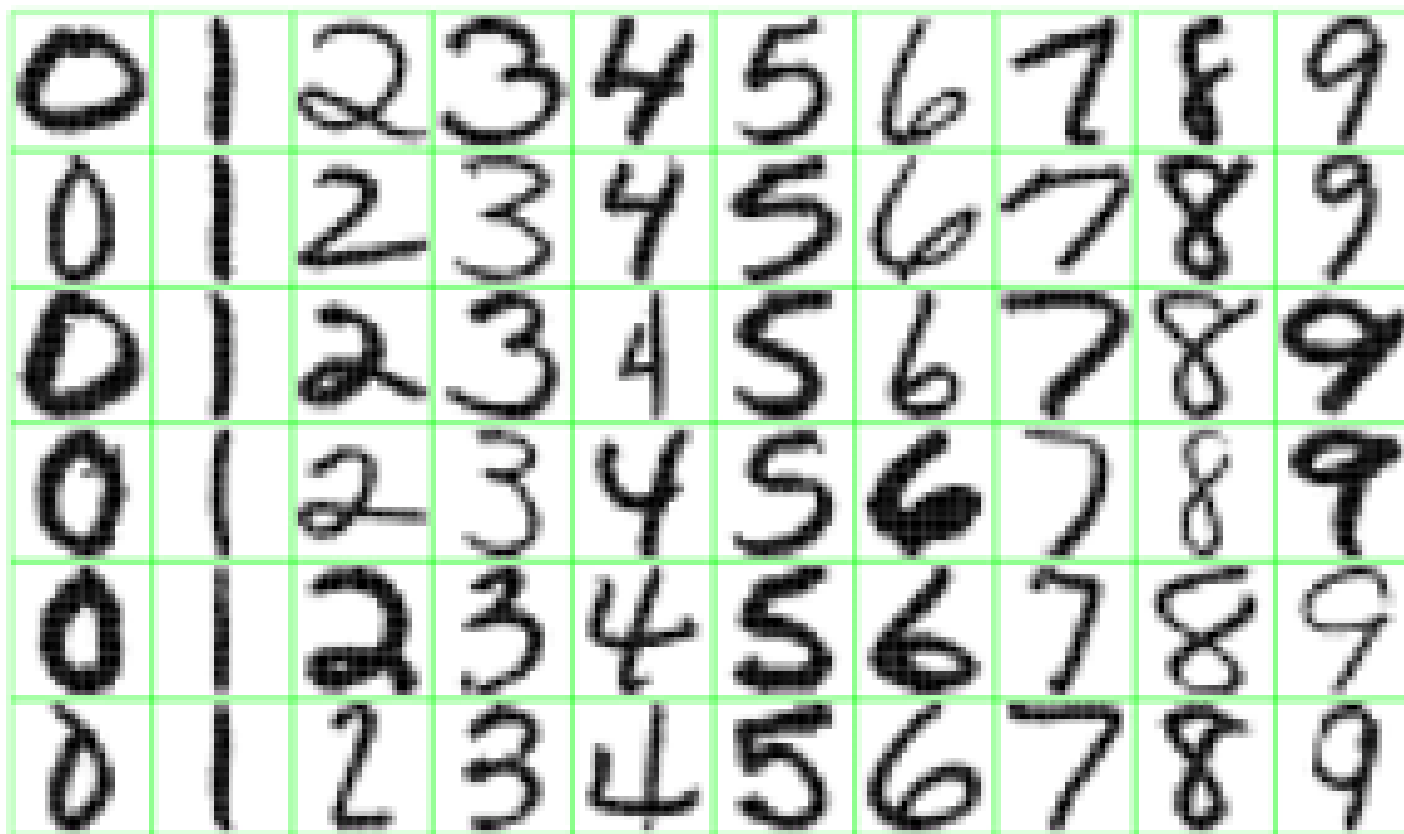
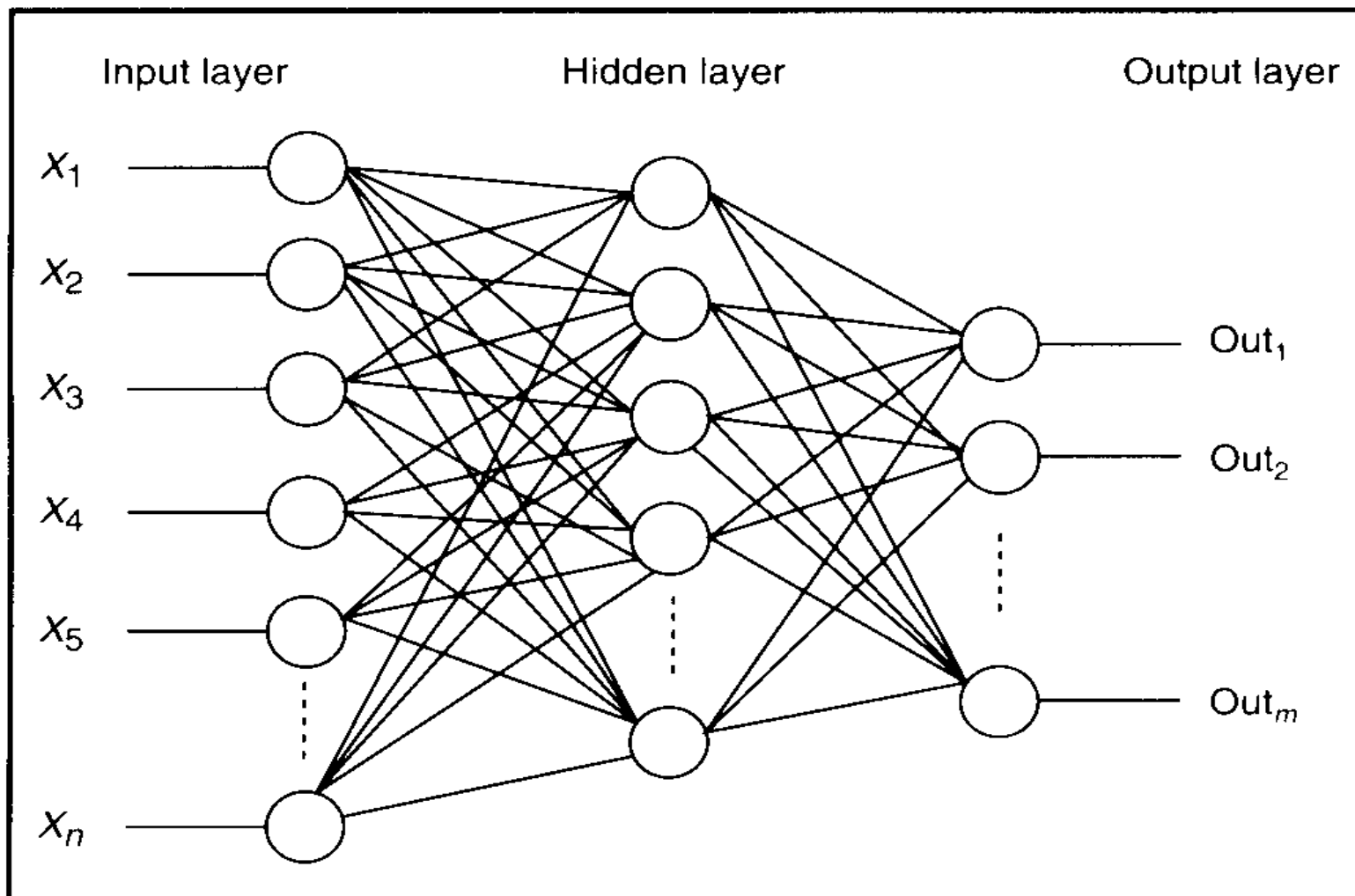
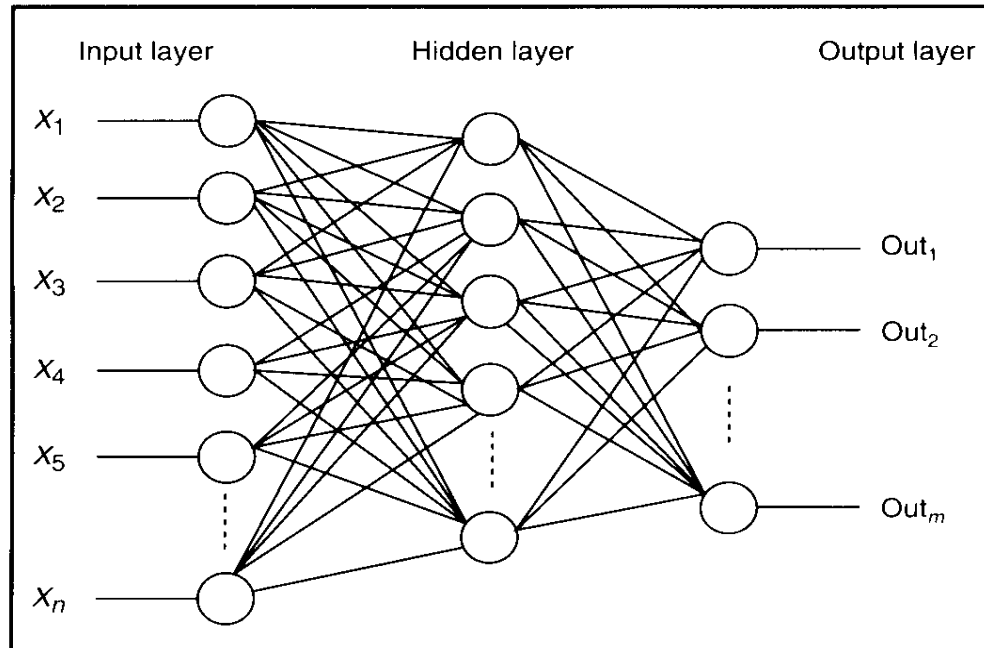
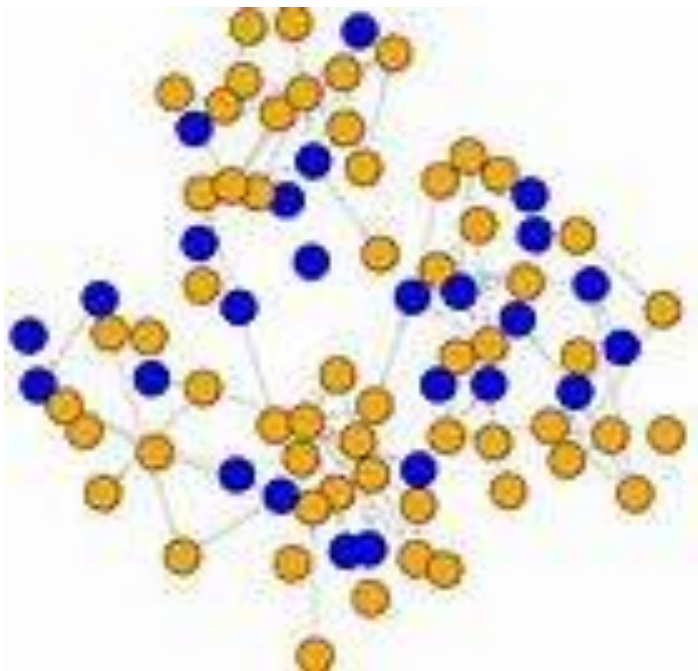
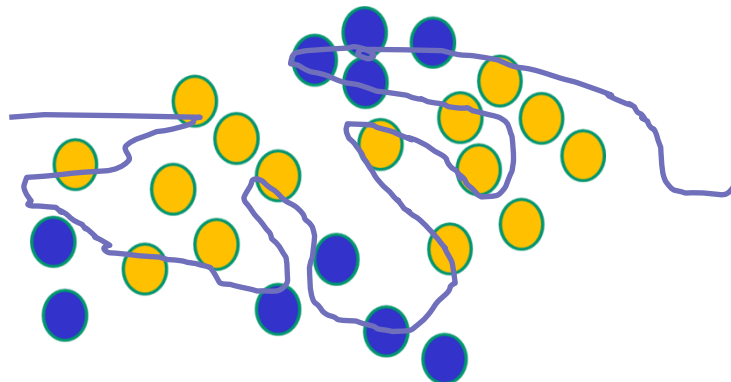


Figure 1.2: *Examples of handwritten digits from U.S. postal envelopes.*

# MLP NN за разпознаване на цифри



# Трислойна MLP NN



## Идея №1

На входа на MLP NN се подава цялото изображение на цифрите



# Детектор за характеристични описатели

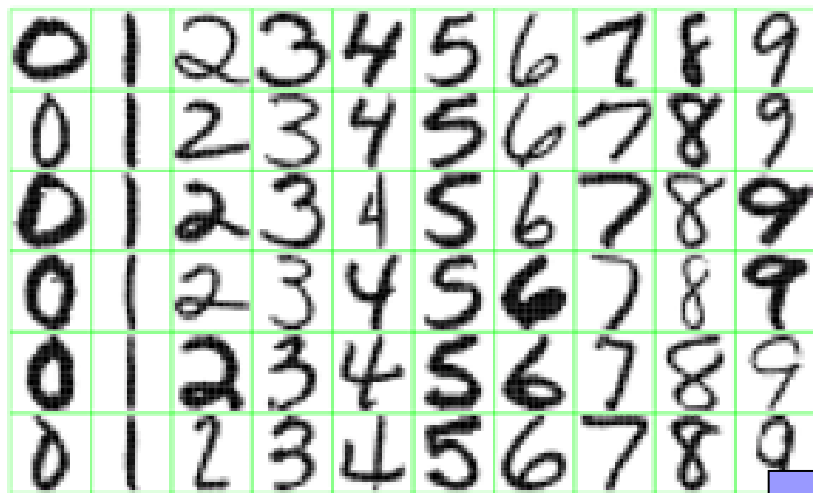


Figure 1.2: Examples of handwritten digits from U.S. postal envelopes.

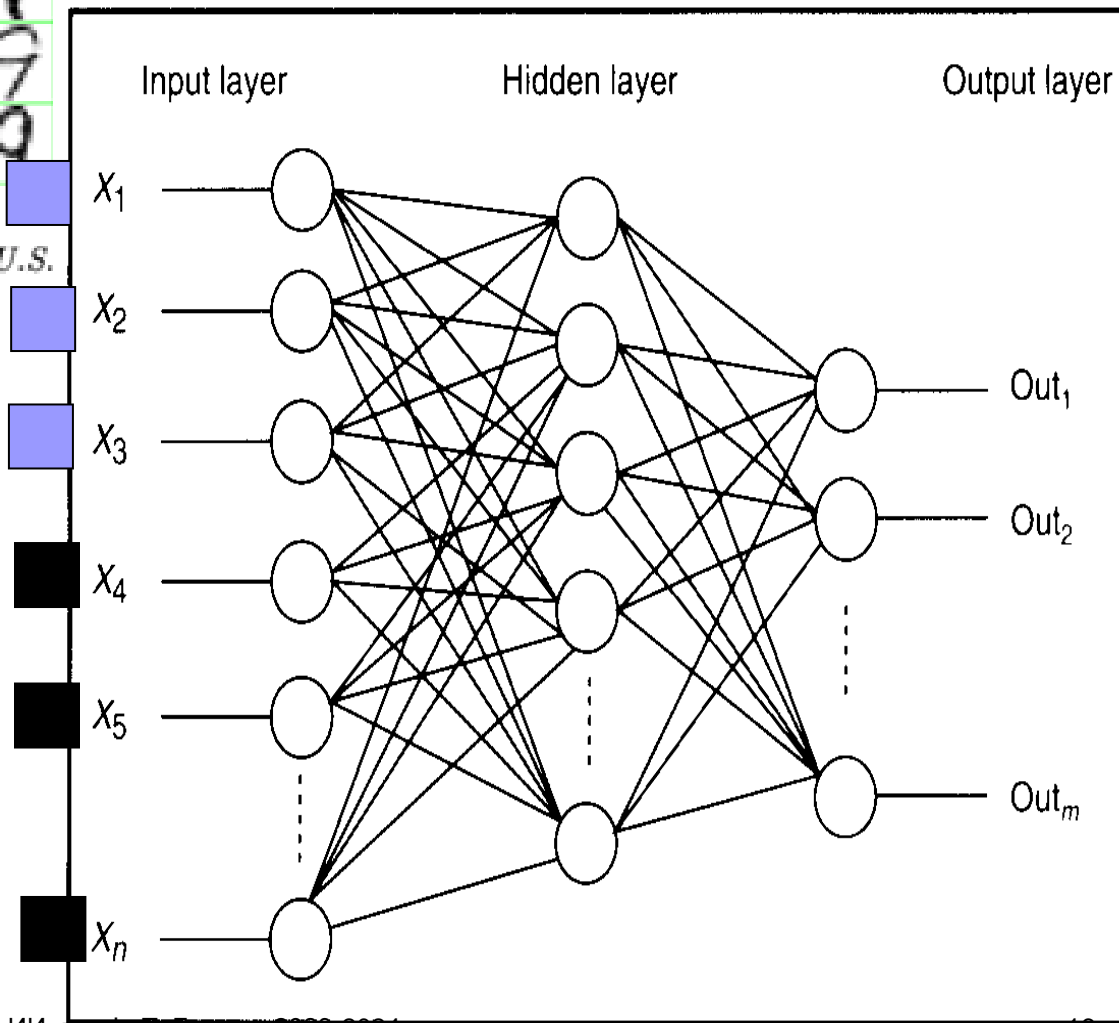
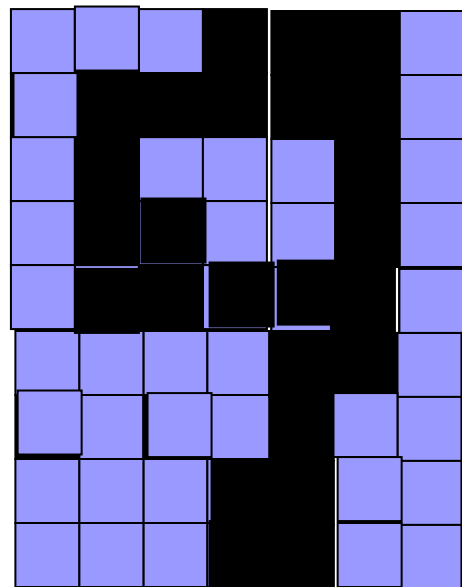
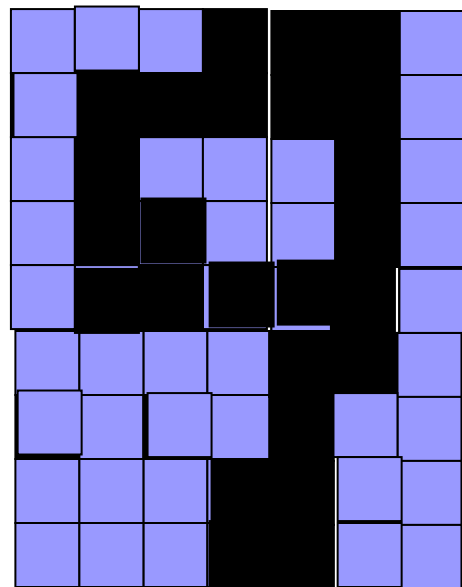
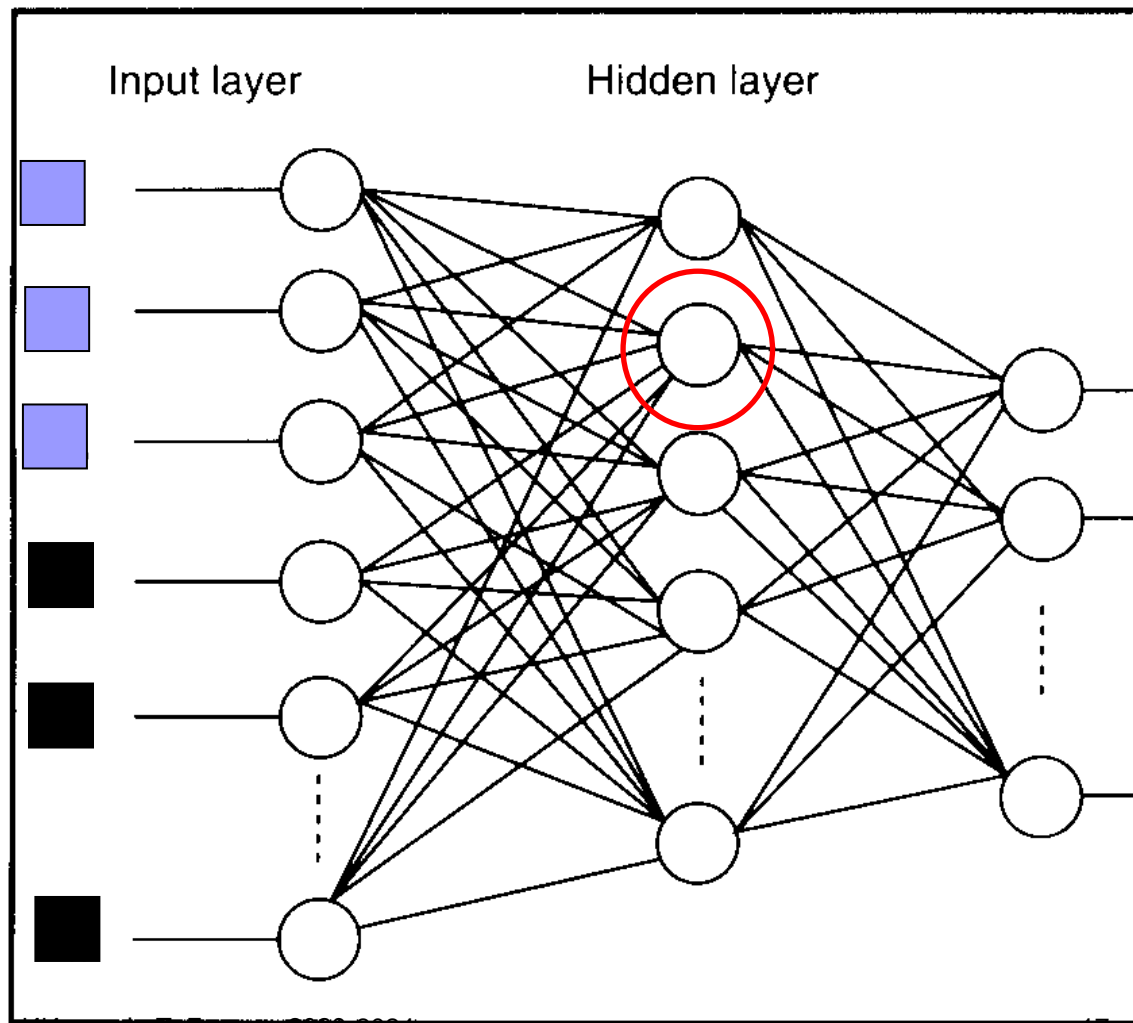




Figure 1.2: *Examples of handwritten digits from U.S postal envelopes.*



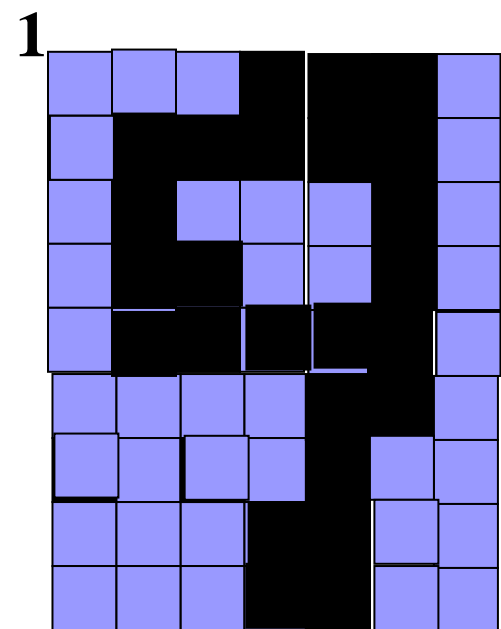
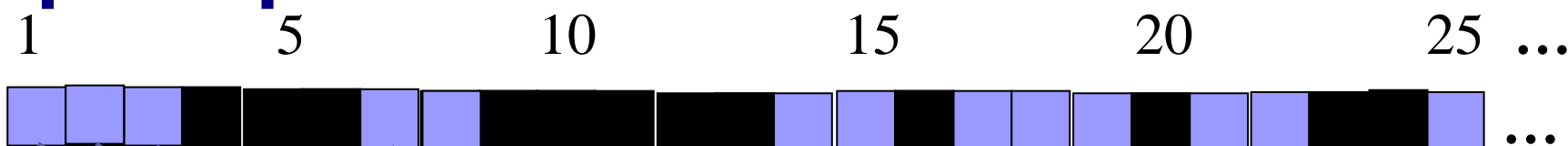
## Какво прави този неврон?



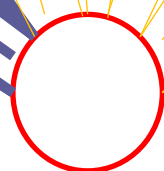
## Идея №2

Мрежата „вижда“ конкретни части (региони),  
от цифрите

# Невроните в скрития слой стават самоорганизиращи се детектори на характеристични описатели



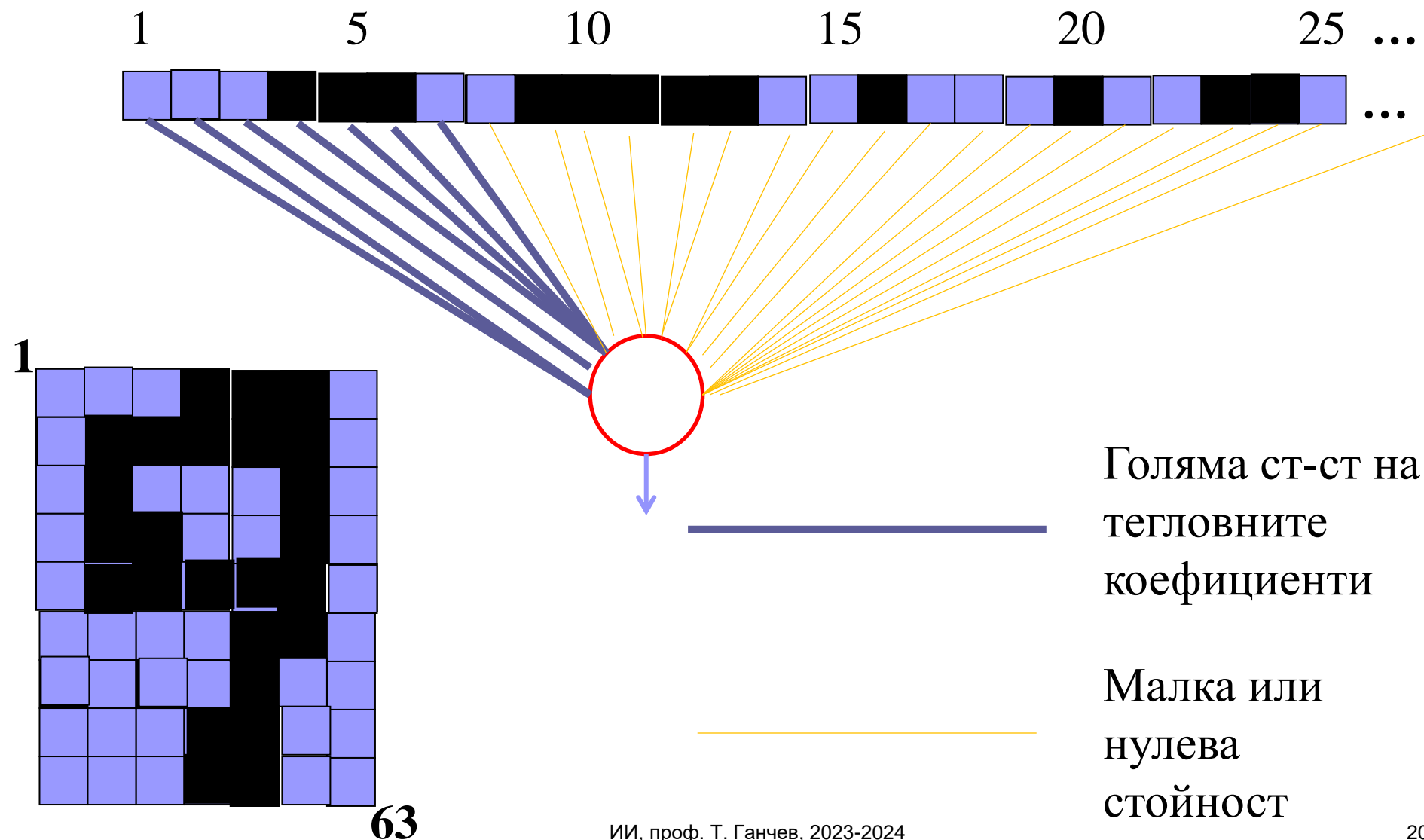
63



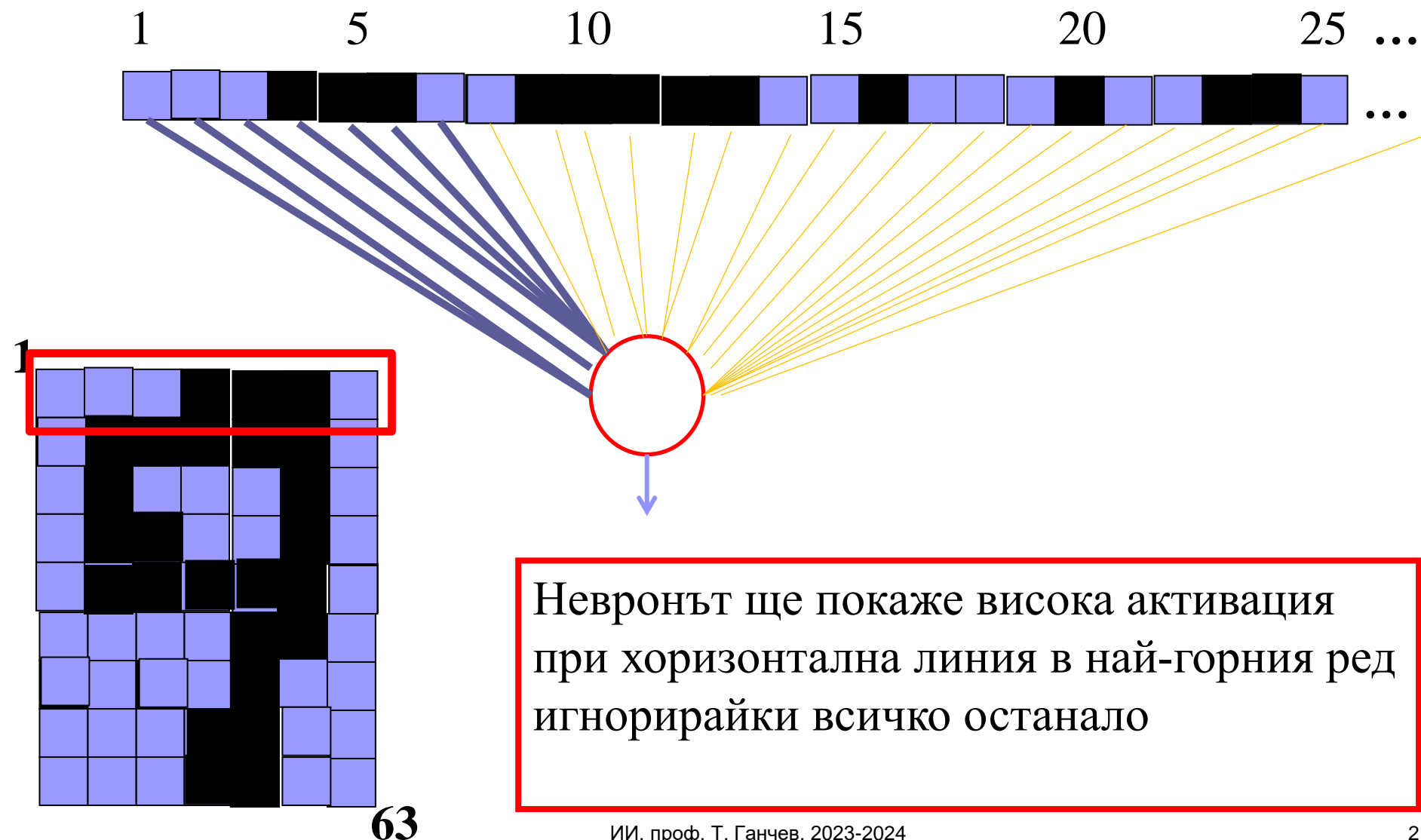
Голяма ст-ст на  
тегловните  
коэффициенти

Малка или  
нулева  
стойност

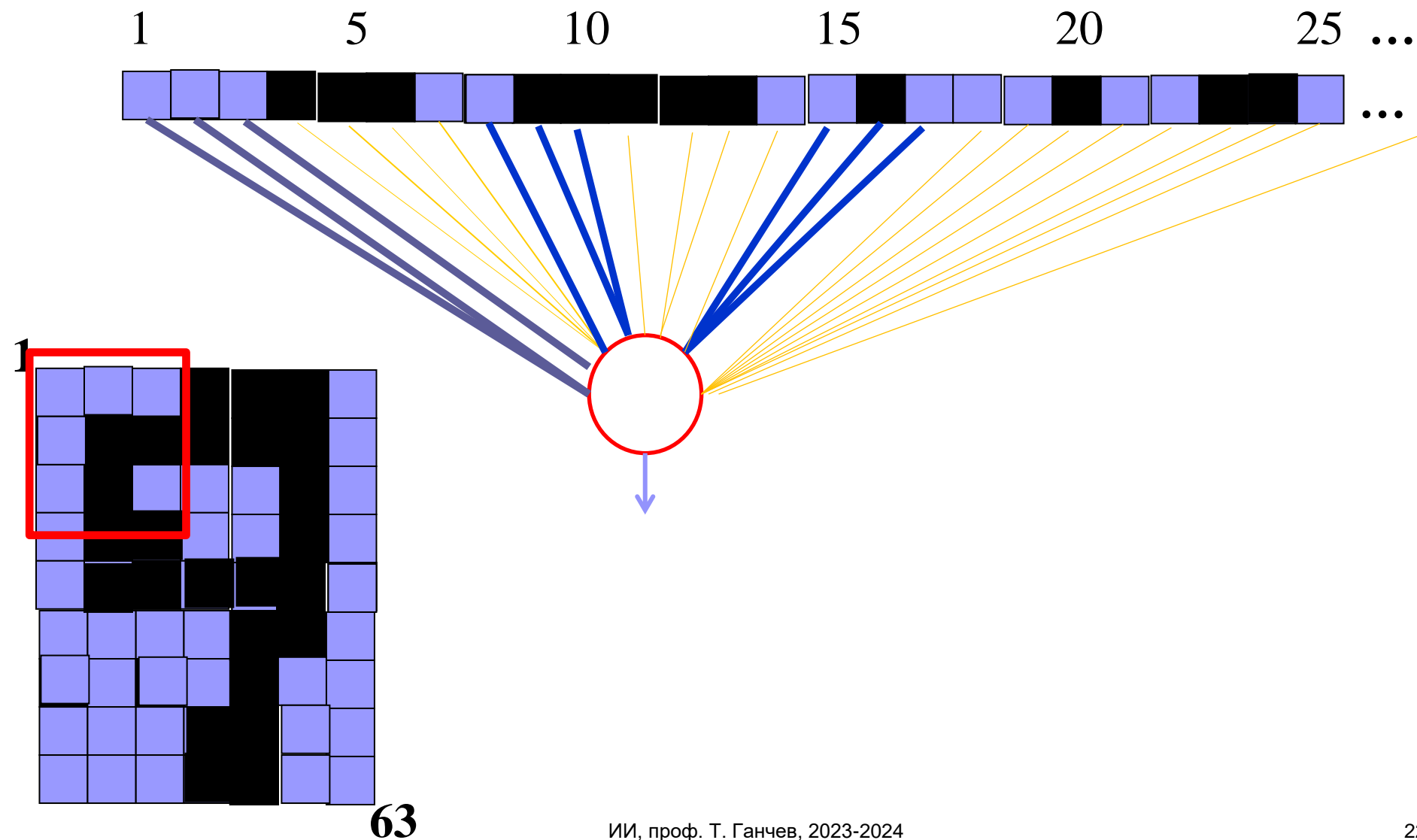
# Какво „детектира“ неврона?



# Какво „детектира“ неврона?

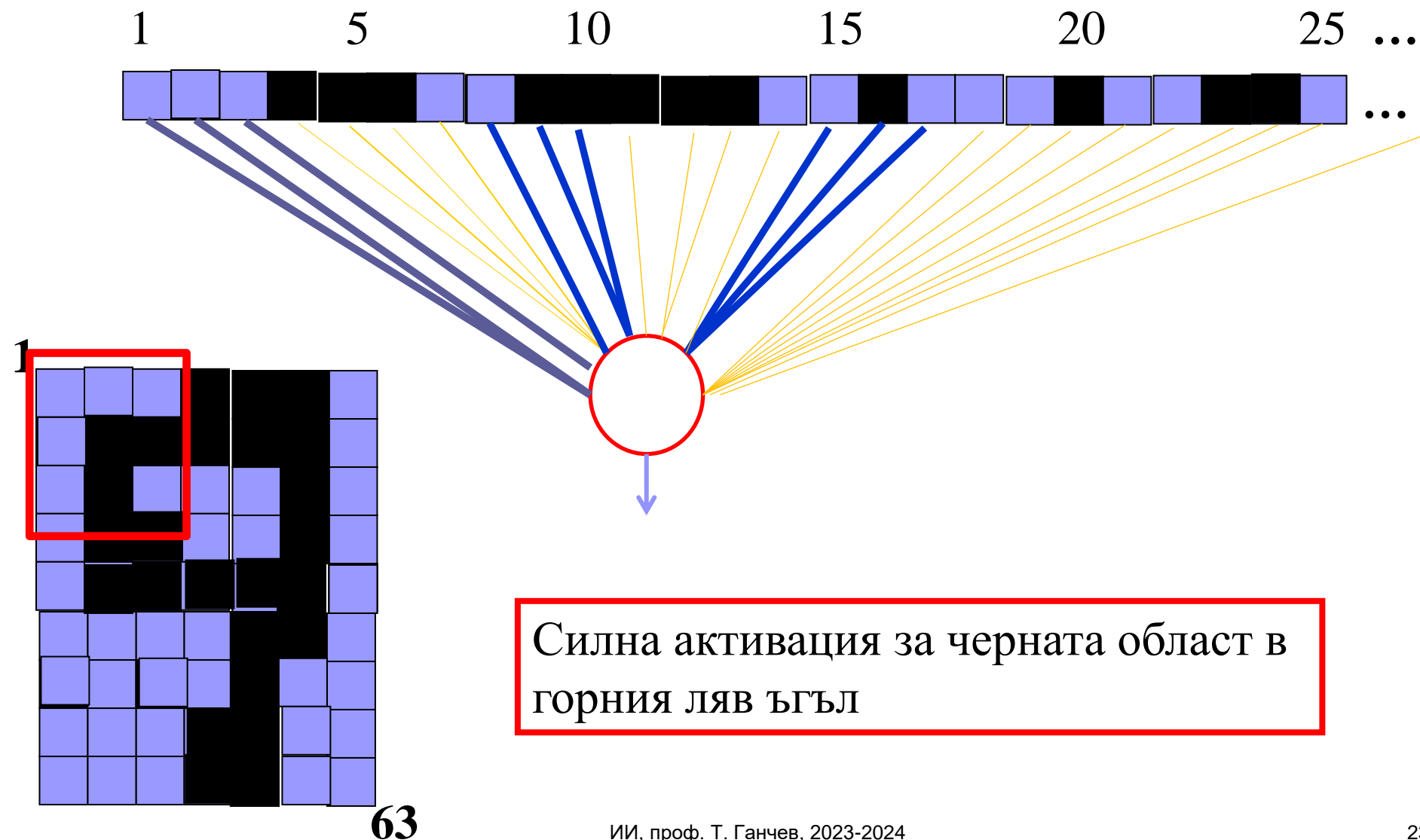


# А какво „детектира“ този неврон?





# А какво „детектира“ този неврон?



Какво би научила една добра невронната мрежа ако бъде обучена с такъв набор от изображения?

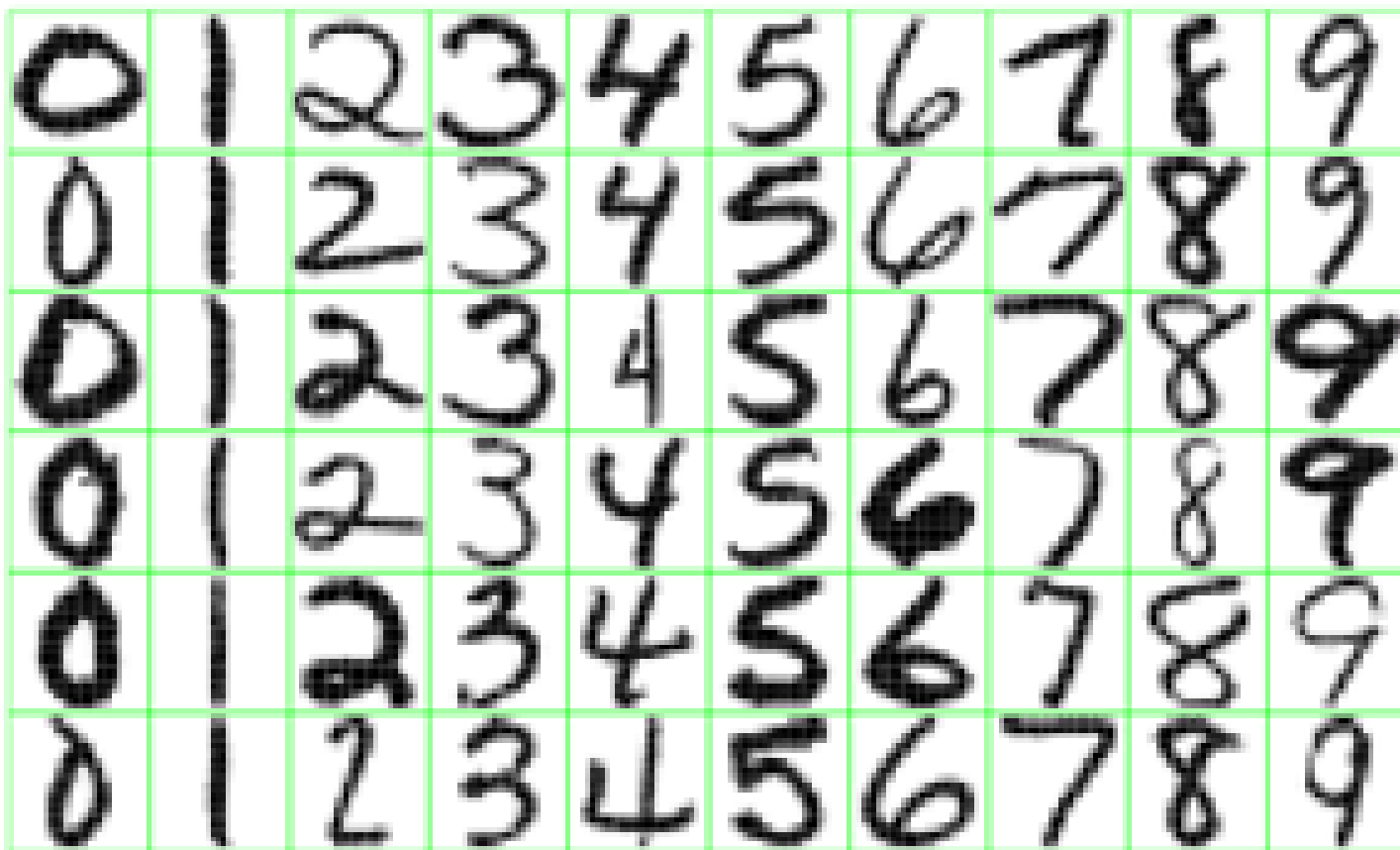


Figure 1.2: *Examples of handwritten digits from U.S. postal envelopes.*

Какво би научила една добра невронната мрежа  
ако бъде обучена с такъв набор от изображения?



Какво би научила една добра невронната мрежа ако бъде обучена с такъв набор от изображения?



Какво би научила една добра невронната мрежа  
ако бъде обучена с такъв набор от изображения?



Какво би научила една добра невронната мрежа  
ако бъде обучена с такъв набор от изображения?

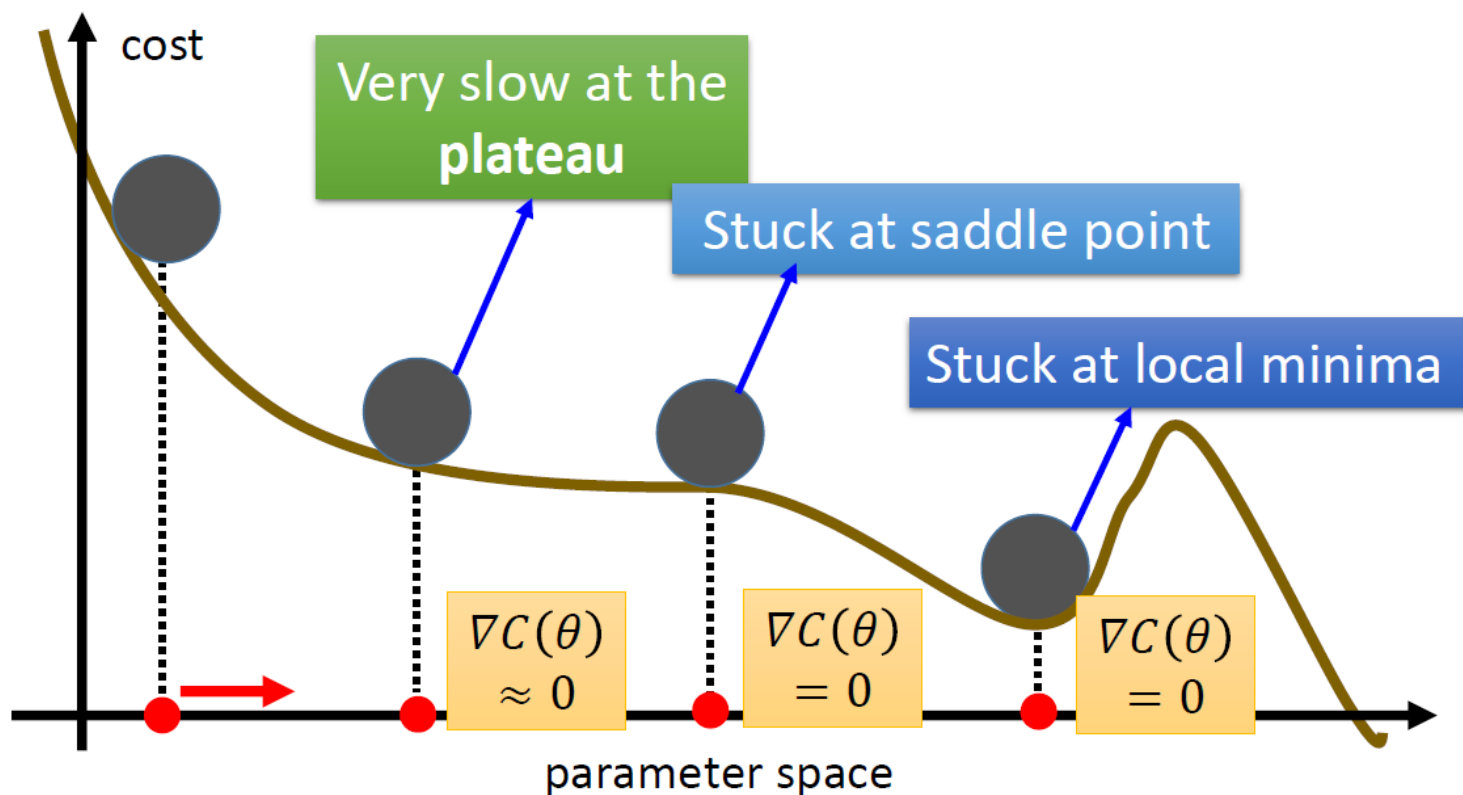


Този подход използва конкретни региони,  
при което детекторите може да не са  
инвариантни спрямо позицията на цифрите



# Защо 'Deep Learning' е необходим?

Проблемите при обучението на традиционните невронни мрежи, например MLP NN, са свързани с бавната сходимост, дългите плато на грешката, попадането в седловини, засядането в локални минимума, и др.



# Понятие за 'Deep Learning'

# Защо 'Deep Learning'?

- Отдавна съществуват надеждни алгоритми за обучение (настройка на параметрите, т.е. тегловните коефициенти) на трислойни мрежи -- с един, дори с два скрити слоя.
- Обаче тези алгоритми не са надеждни при обучението на невронни мрежи с голям брой скрити слоеве.

# Защо е необходима 'Deep Learning' технологията?

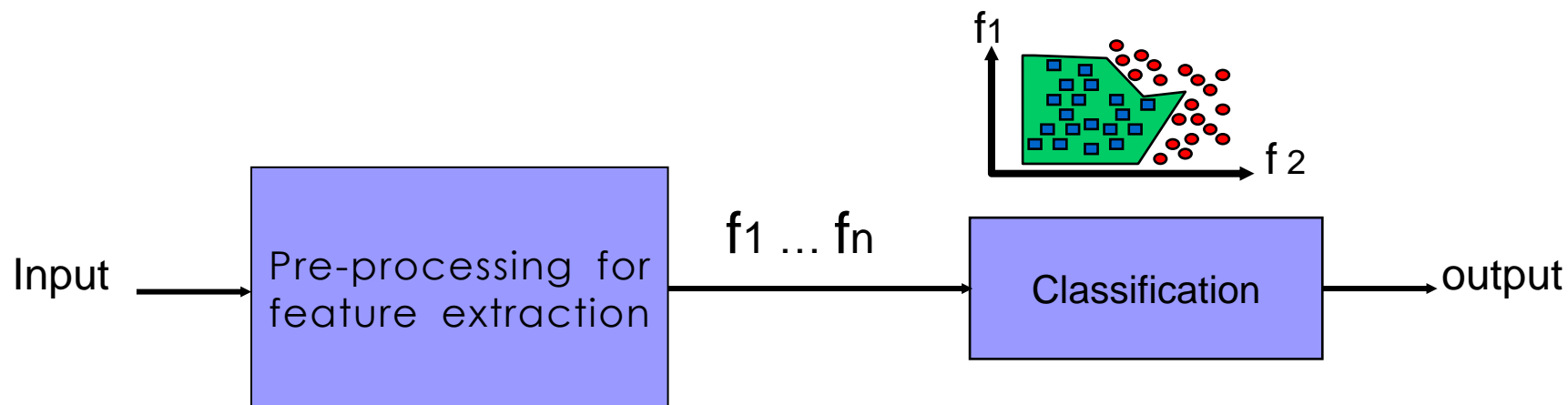


„Ръчно“ създадените описатели, с които работят класическите методи за ML имат множество ограничения:

- За успешно прилагане на ML методите се изисква експертно знание за проблема -- дълбоко разбиране за процесите, индикаторите и критериите, които дефинират решението на проблема
- Създаването им е трудоемко и отнема много време – необходим е значителен човешки ресурс за създаване на „смислени“ описатели на информацията, обектите, събитията, състоянията, поведенията, процесите...
- Описателите и ML моделите обикновено са създадени за конкретен проблем (тип обекти) и не са универсални за други случаи
- Недобра мащабируемост – трудности при пранасяне на решението към други подобни проблеми или увеличаване на мащабите на задачата...

# Понятие за CNN

## ■ Традиционен ML алгоритъм

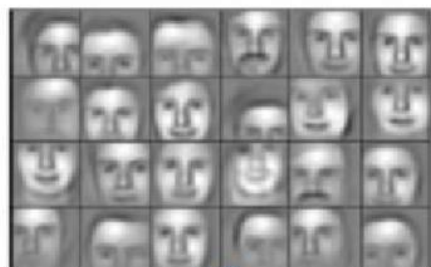


## ■ CNN



# Как работи 'Deep Learning'?

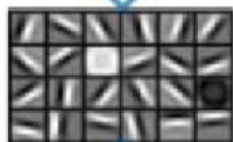
Feature representation



3rd layer  
"Objects"



2nd layer  
"Object parts"



1st layer  
"Edges"



Pixels

- Възможност за откриване на основните „елементи“ от които се състоят данните.
- Пример: разпознаване на лица от изображения

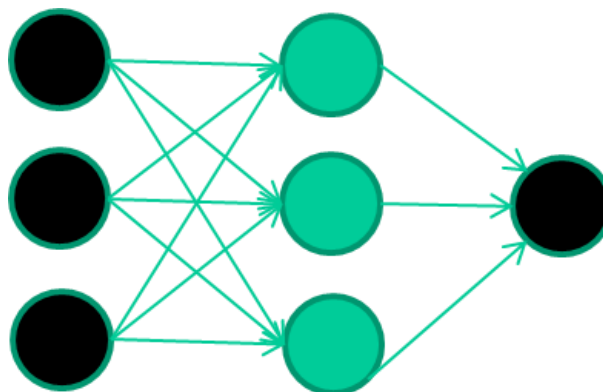
# Какво всъщност е 'Deep Learning'?

## Кратък отговор:

- От гледна точка на архитектурата: Използване на невронна мрежа с няколко скрити слоя

## Всъщност:

Многослойните невронни мрежи от перцептрони (Multilayer Perceptron Neural Networks, MLP NN) са широко използвани от предходния (т.е. XX) век.



## Кое е новото?





# Какво всъщност е 'Deep Learning'?

Новото при DL е основно в

**Алгоритмите за обучение на многослойни  
невронни мрежи**

- но не само...



# Какво всъщност е 'Deep Learning'?

**Кратък отговор:**

■ **От гледна точка на Функционалност:**

Използване на последователност от скрити слоеве за откриване на описатели/характеристики на обектите/събитията в различни мащаби на разглеждане.

**Йерархичност при обработка на информацията!**

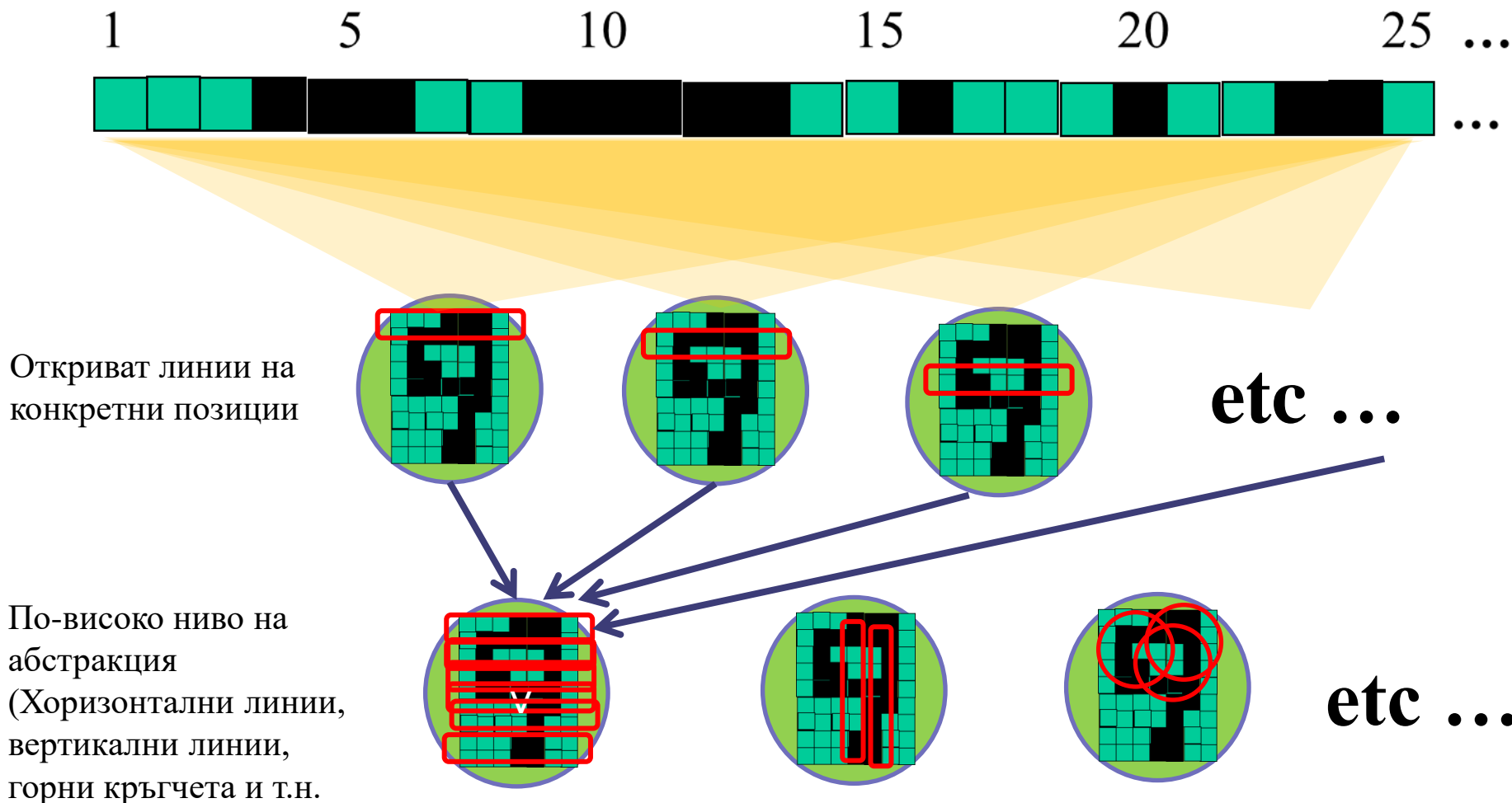
**Различна разрешаваща способност (резолюция) в отделните етапи при моделиране на обекти/събития/процеси.**

# Какво всъщност е 'Deep Learning'?

## Други подобрения:

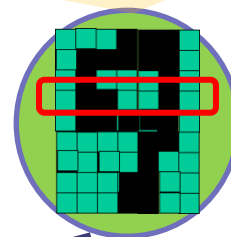
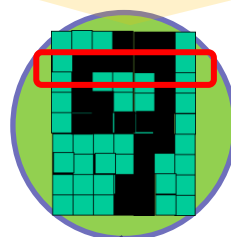
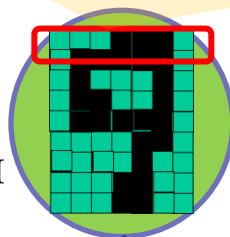
- Повече „скрити“ неврони и множество слоеве което води до по-добра възможност да се моделират особености (а не само общи х-ки)
- По-добра оптимизация на параметрите (on-line)
- „Нови“ нелинейни активиращи функции от семейството линейни функции с насищане (ReLU)
- По-бързи (паралелни) изчисления чрез multicore CPUs, GPUs и др.

# Няколко последователни слоя могат да научат характеристики от по-висок ред



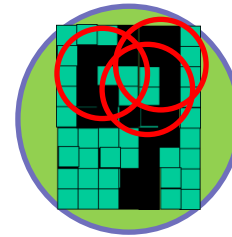
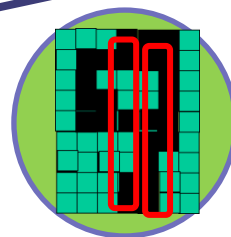
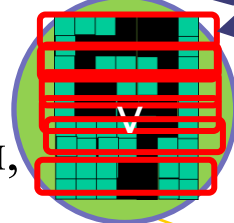


Откриват линии на конкретни позиции



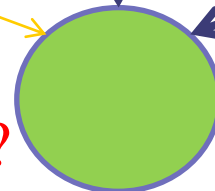
etc ...

По-високо ниво на абстракция  
(Хоризонтални линии,  
вертикални линии,  
горни кръгчета и т.н.)

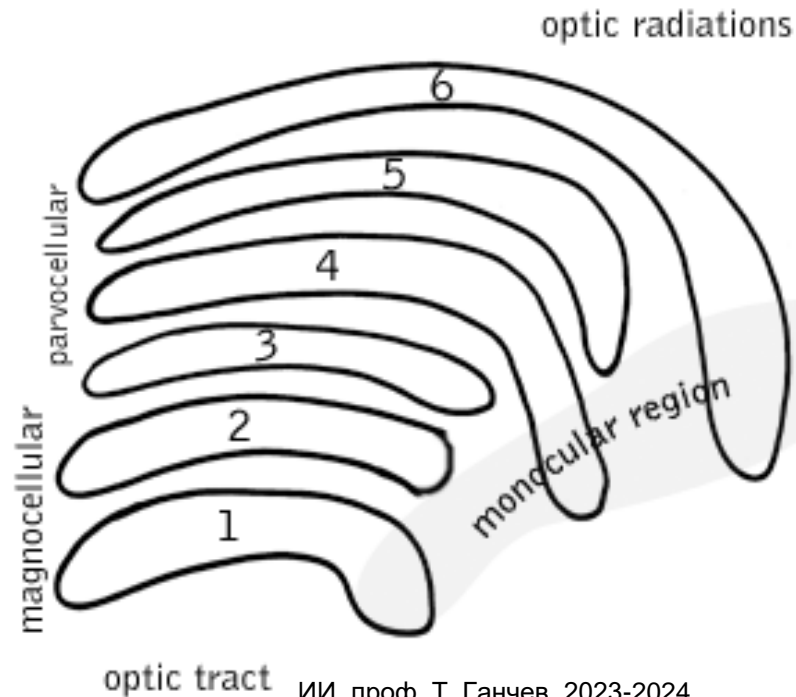
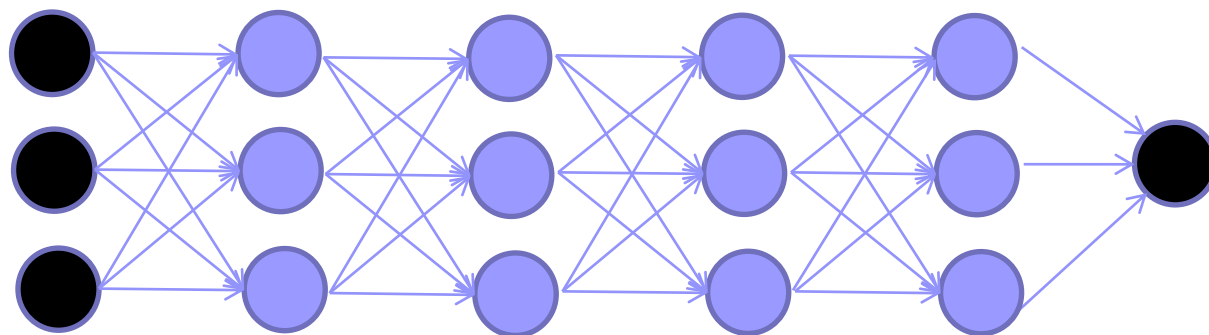


etc ...

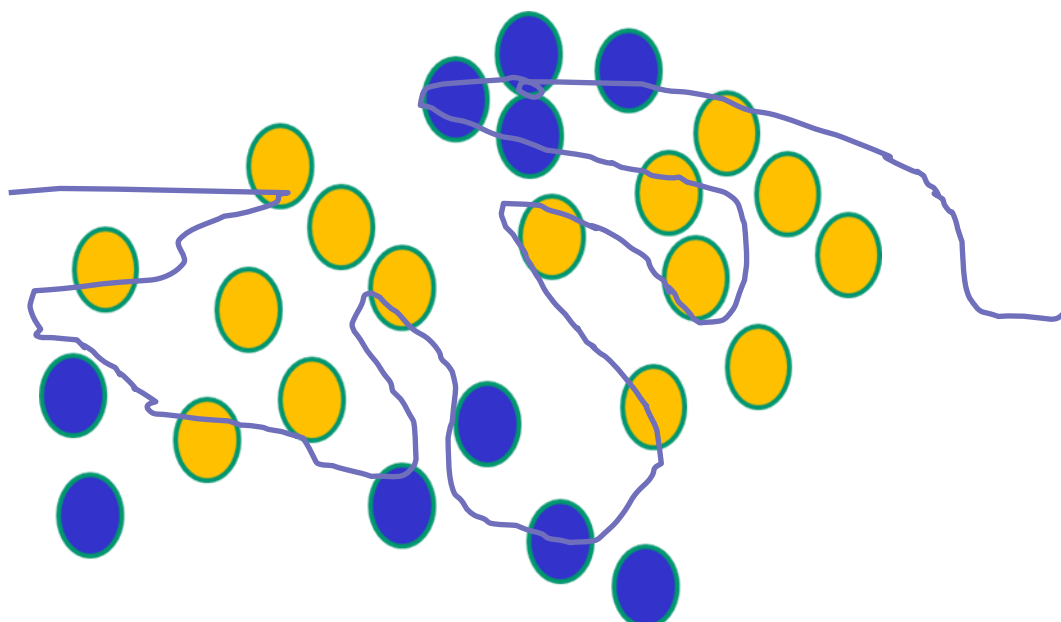
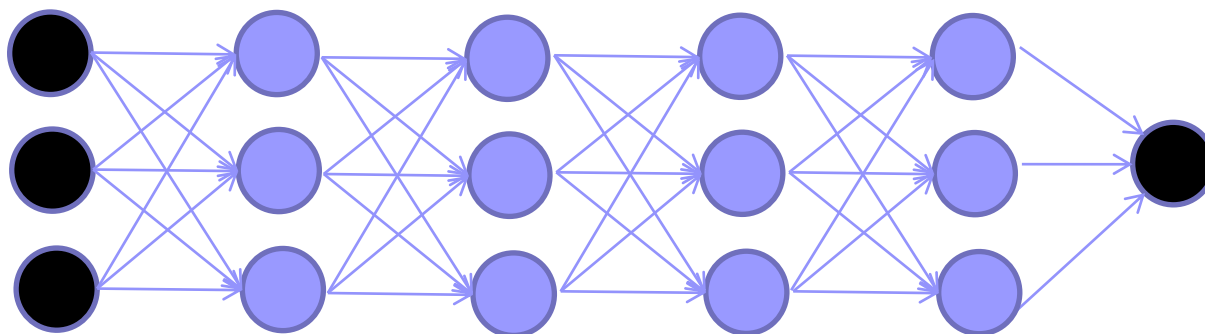
Какво ще открие този неврон?



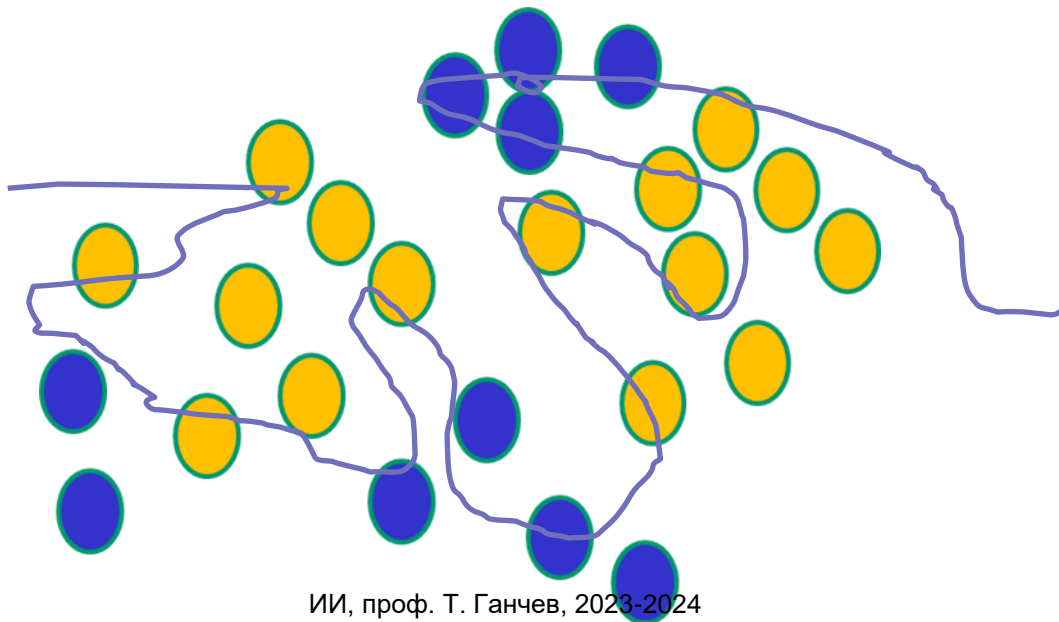
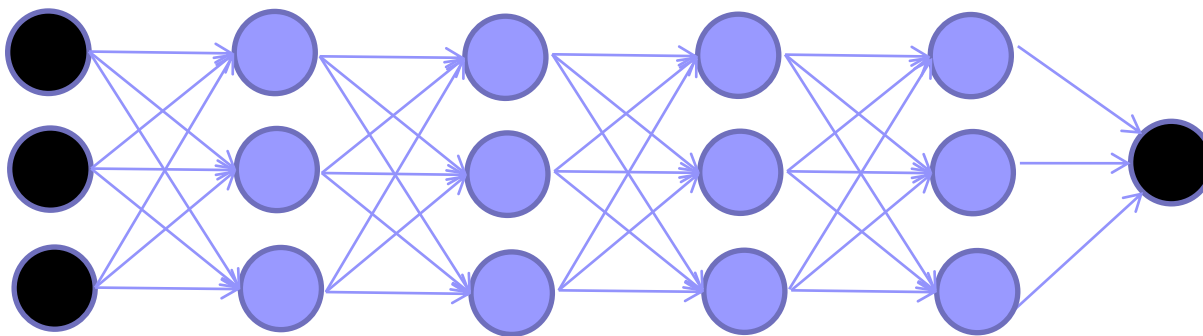
# Извод: Множество скрити слоеве може да помогнат



**Многослойните невронни мрежи, които научат елементарните „елементи“ на данните биха могли да генерализират много успешно ...**



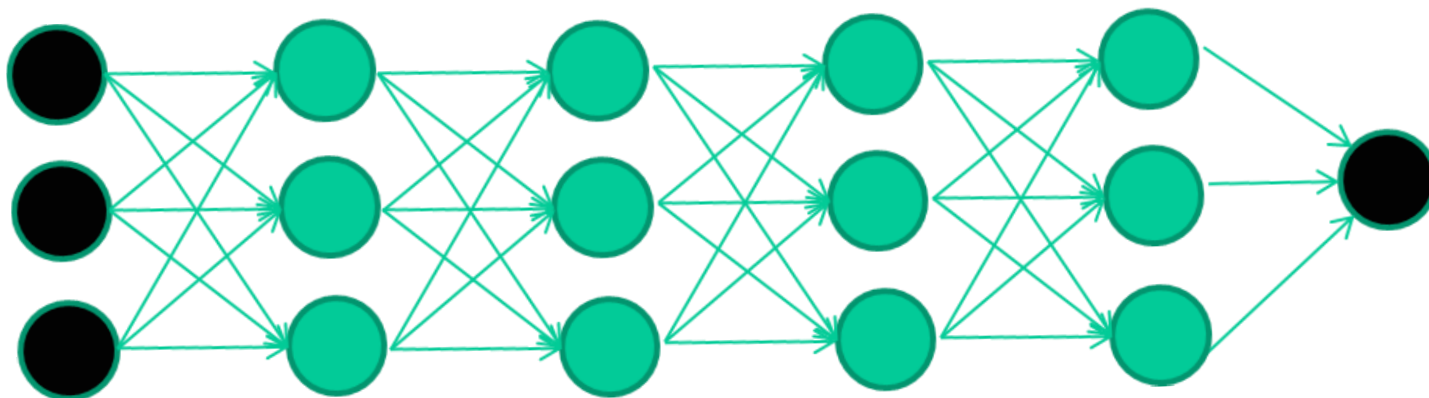
**Доскоро обаче стратегиите за настройка на теглата (backpropagation) не работеха добре с многослойни невронни мрежи...**



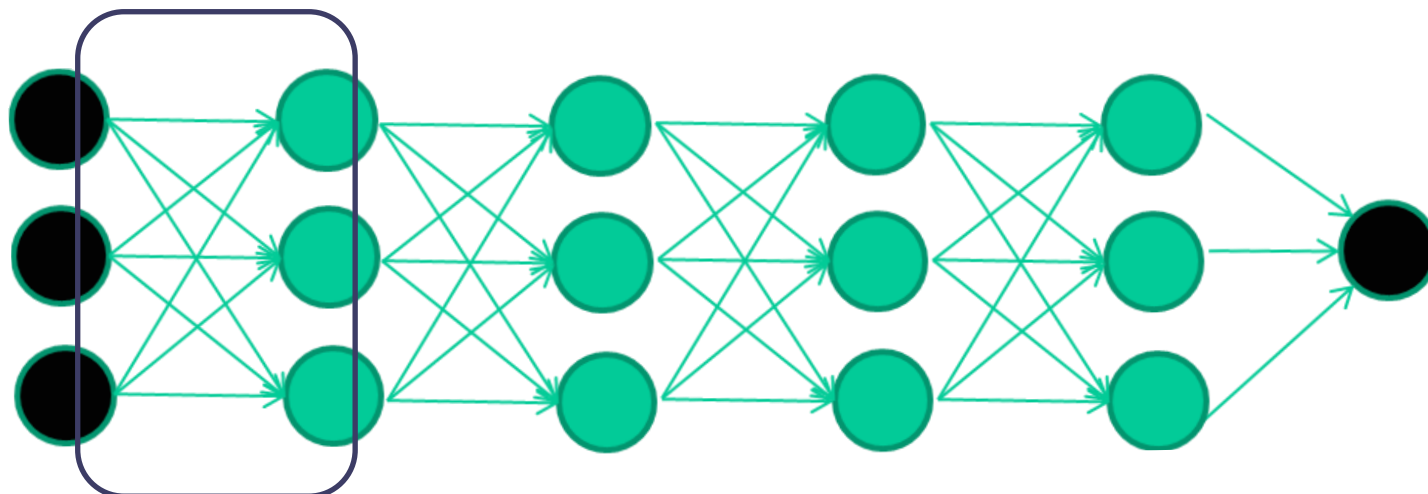


# Дефиниция за 'Deep Learning'

# Новият начин за обучение на многослойни невронни мрежи...

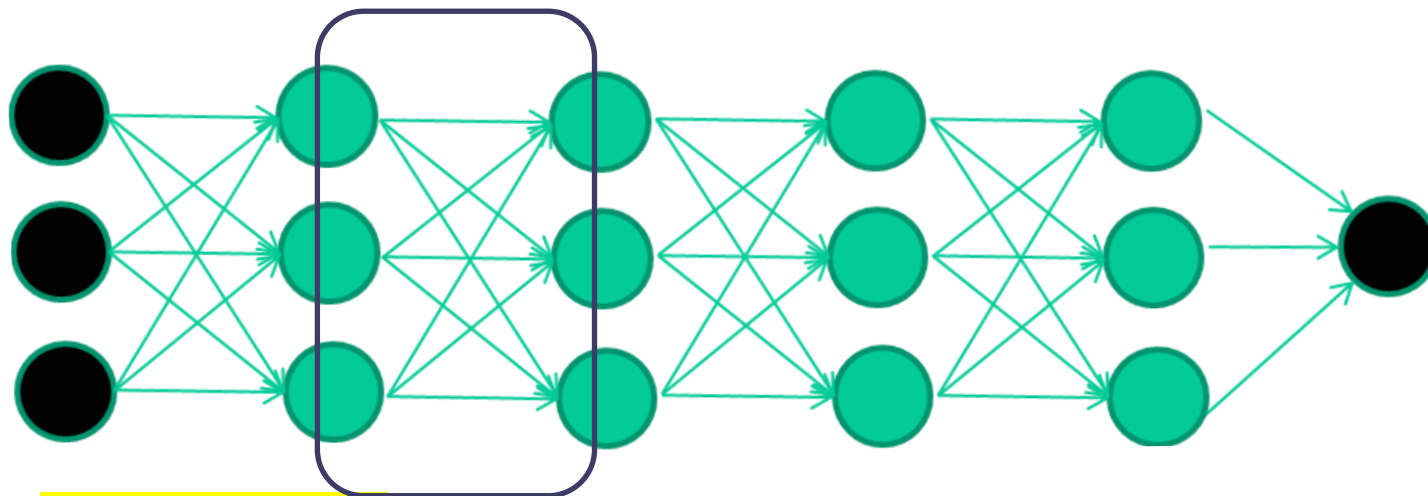


# Новият начин за обучение на многослойни невронни мрежи...



Първо  
обучаваме  
този слой

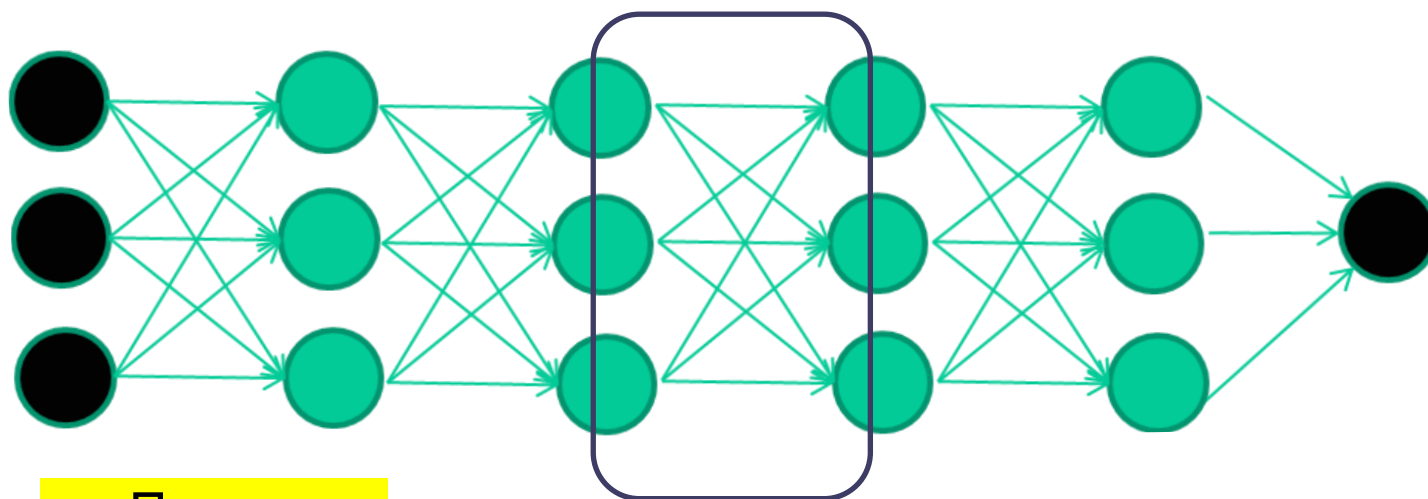
# Новият начин за обучение на многослойни невронни мрежи...



Първо  
обучава  
този слой

След това  
този слой

# Новият начин за обучение на многослойни невронни мрежи...

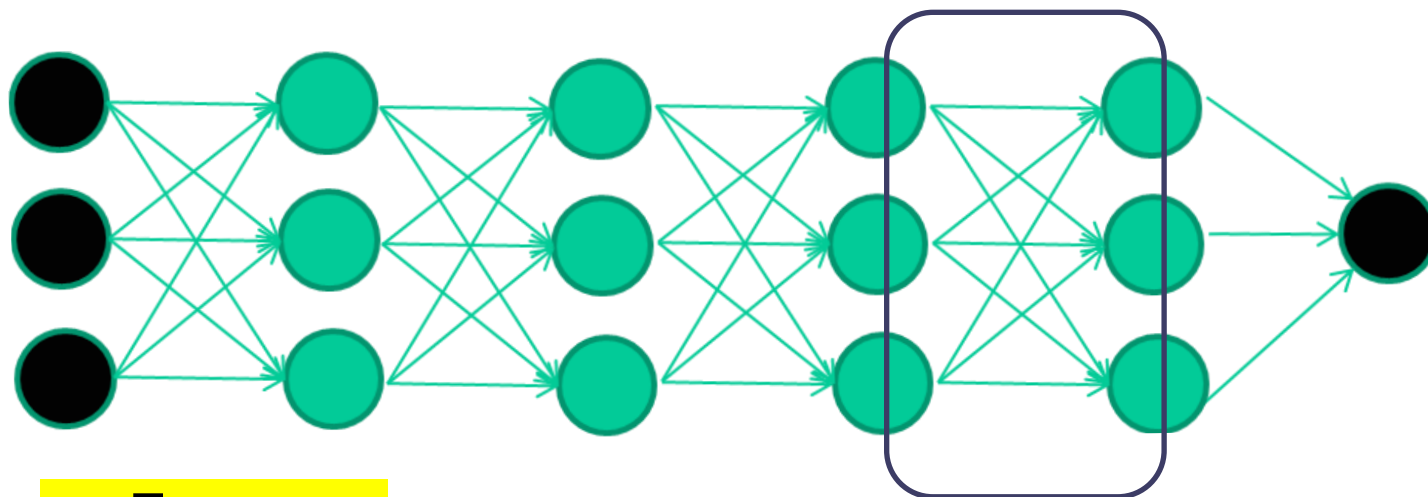


Първо  
обучава  
този слой

След това  
този слой

След това  
този слой

# Новият начин за обучение на многослойни невронни мрежи...



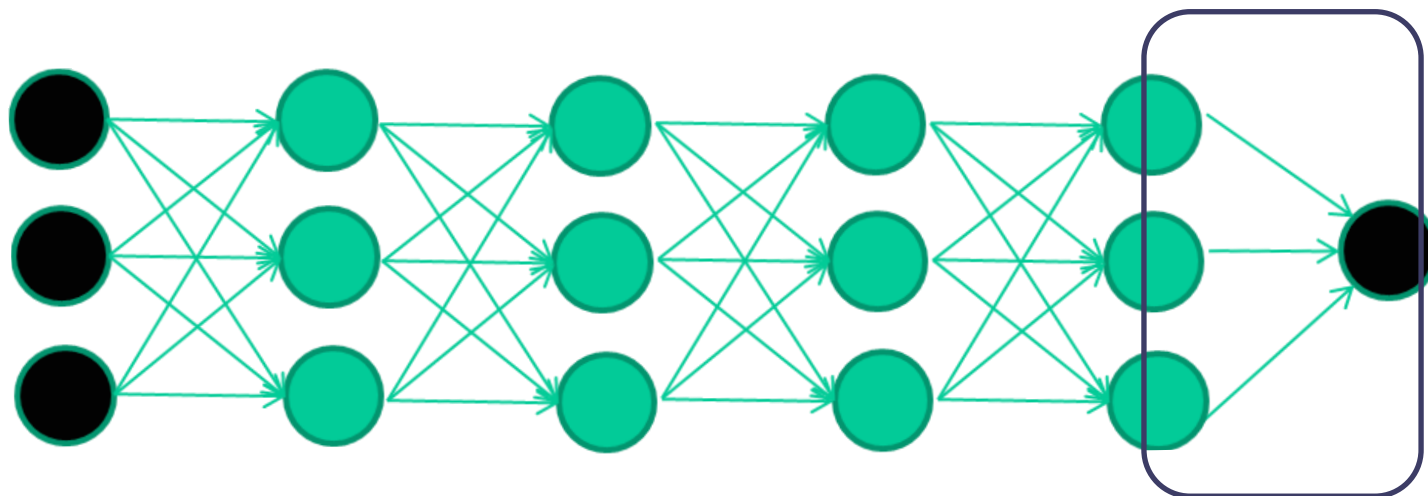
Първо  
обучава  
този слой

След това  
този слой

След това  
този слой

След това  
този слой

# Новият начин за обучение на многослойни невронни мрежи...



Първо  
обучава  
този сло

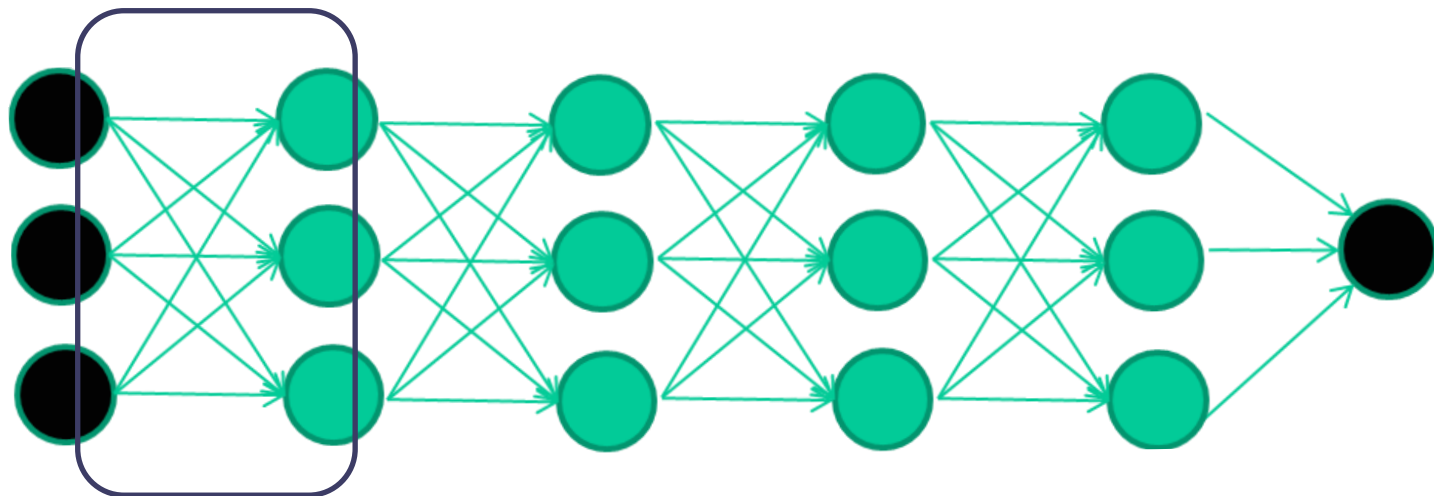
След тог  
този слс

След това  
този слой

След то  
този сл

Накрая и  
този слой

# Новият начин за обучение на многослойни невронни мрежи...



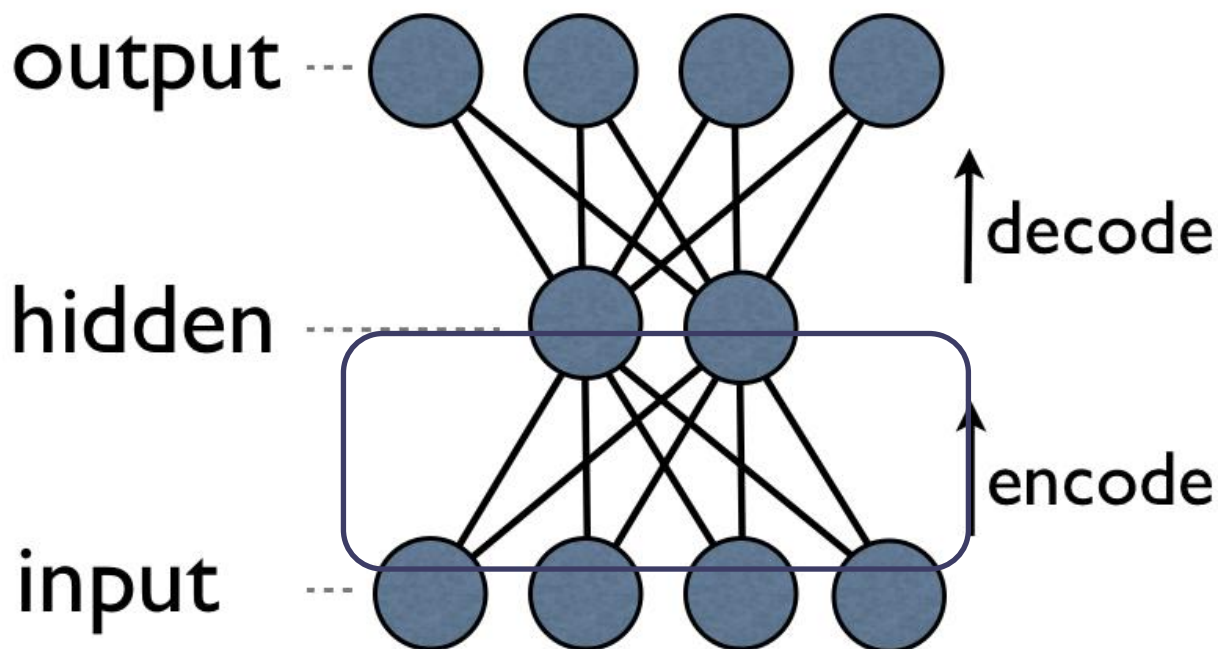
Всички слоеве  
(без изходния)  
се обучават да  
бъдат auto-  
encoders

*Такава стратегия за обучение ги принуждава да научат правилните характеристики / описатели които описват какво идва от предходния слой*

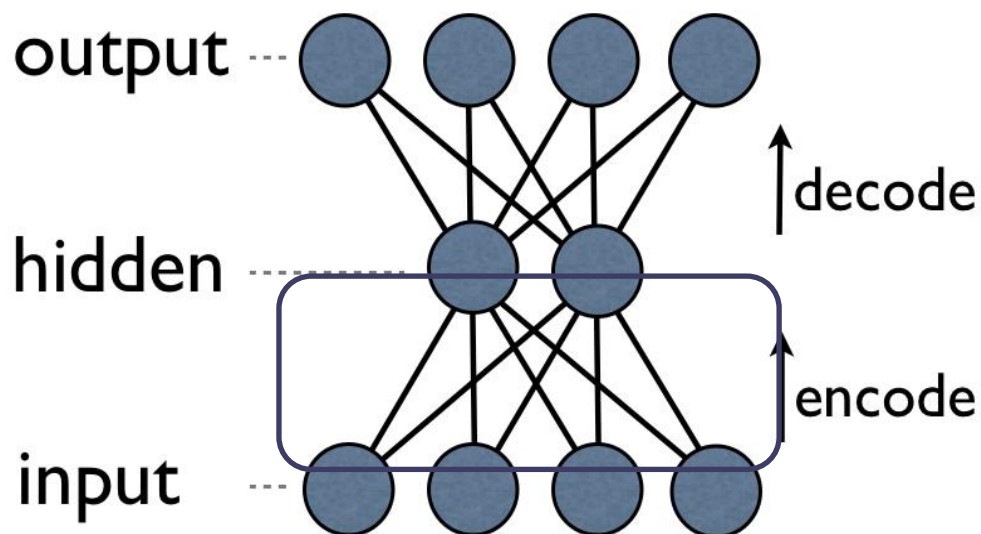


# Новият начин за обучение на многослойни невронни мрежи...

Auto-encoder-а се обучава чрез стандартните алгоритми за настройка на теглата на невроните, така че изхода да възпроизвежда входните данни

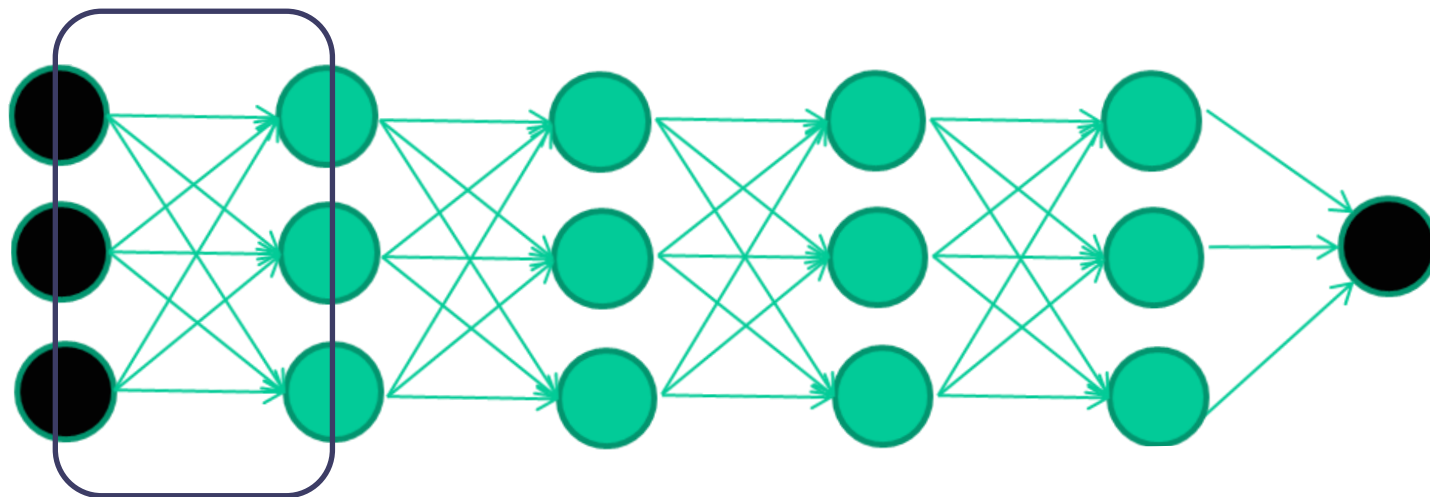


**Auto-encoder-a се обучава чрез стандартните алгоритми за настройка на теглата на невроните, така че изхода да възпроизвежда входните данни**



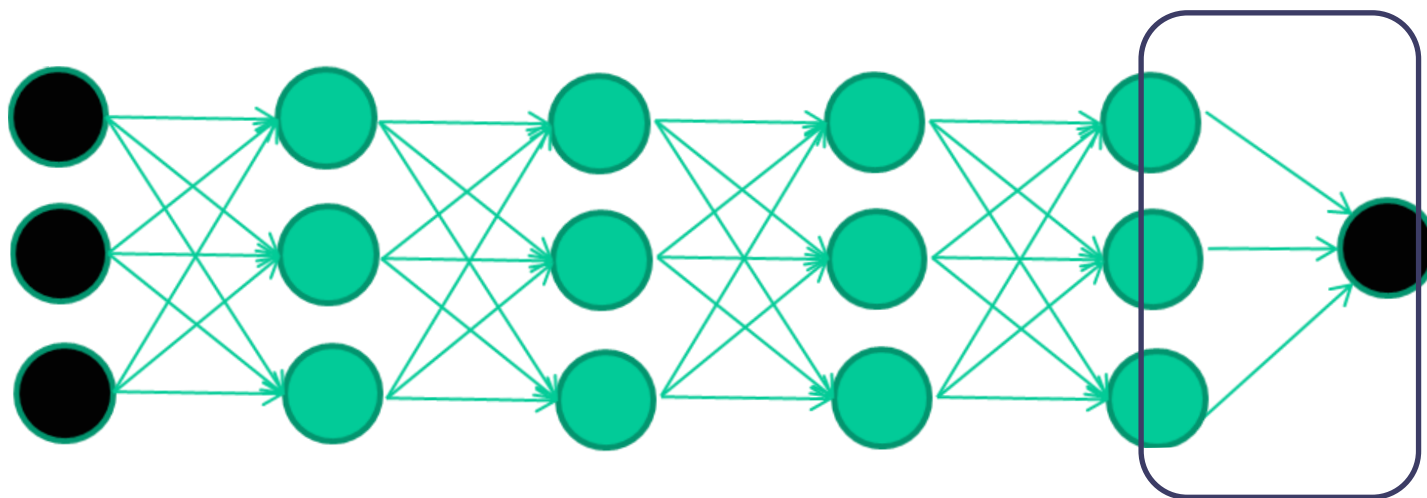
Когато това се направи с много по-малко неврони в скрития слой (в сравнение с входния) резултата е че невроните в скрития слой са принудени да станат добри детектори на описатели

# Новият начин за обучение на многослойни невронни мрежи...



Междинните слоеве се обучават да  
бъдат auto-encoders

**Изходният слой се обучава да предсказва класа въз основа на изходите на предходния слой**





Yann LeCun и Yoshua Bengio публикуват концепцията на конволюционните невронни мрежи (convolutional neural networks, CNN) през 1995г.

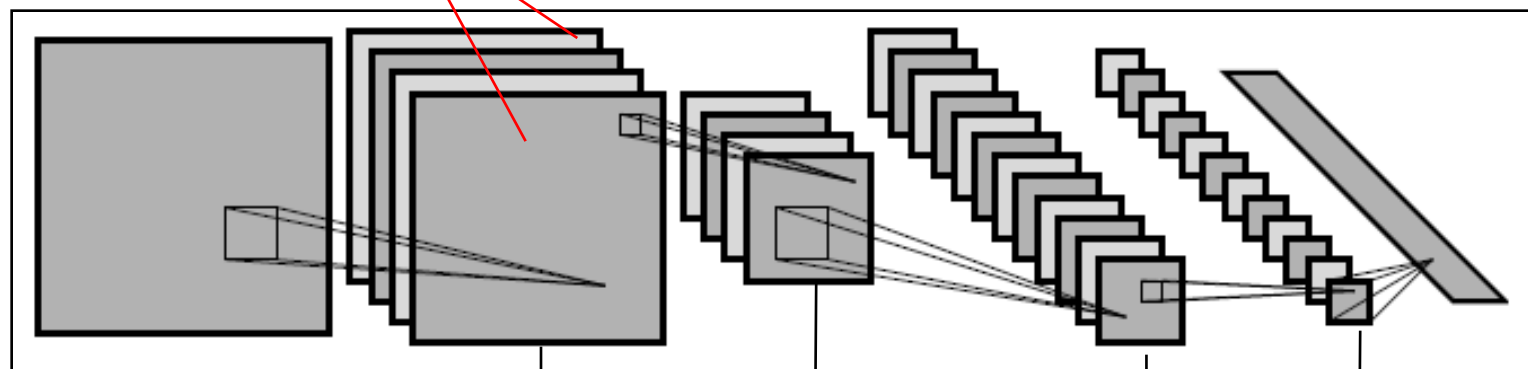
- CNN са вдъхновени от откритията на **невробиологията**, показващи че в областта от мозъка (visual cortex), която осъществява функциите на зрението, има нервни клетки които са локално чувствителни и са чувствителни към ориентацията.
- **Yann LeCun** и **Yoshua Bengio** създават структура на мрежа която по подразбиране извлича съответните характеристики на обектите.
- Convolutional Neural Networks могат да се разглеждат като един вид **multi-layer neural networks**.

# Защо да използваме по-дълбока мрежа?

- ❑ По-дълбоките мрежи могат да използват доста по-малко неврони за слой и много по-малко параметри
- ❑ Често имат по-добра точност на тестовия набор от данни въпреки че са по икономични.
- ❑ **По трудни са за оптимизиране!**
- ❑ Когато избираме дълбока архитектура обикновено сме мотивирани от допускането (вярваме), че искаме да „научим“ композитна функция която се състои от няколко по-елементарни функции.
- ❑ Или обучението има за цел да открие набор от основни фактори на вариация, които могат на свой ред да бъдат описани от гледна точка на други, по-прости основни фактори на изменчивост.

# Понятие за CNN

Характеристични карти (Feature maps)



Извличане на описатели

Feature extraction layer

Convolution layer

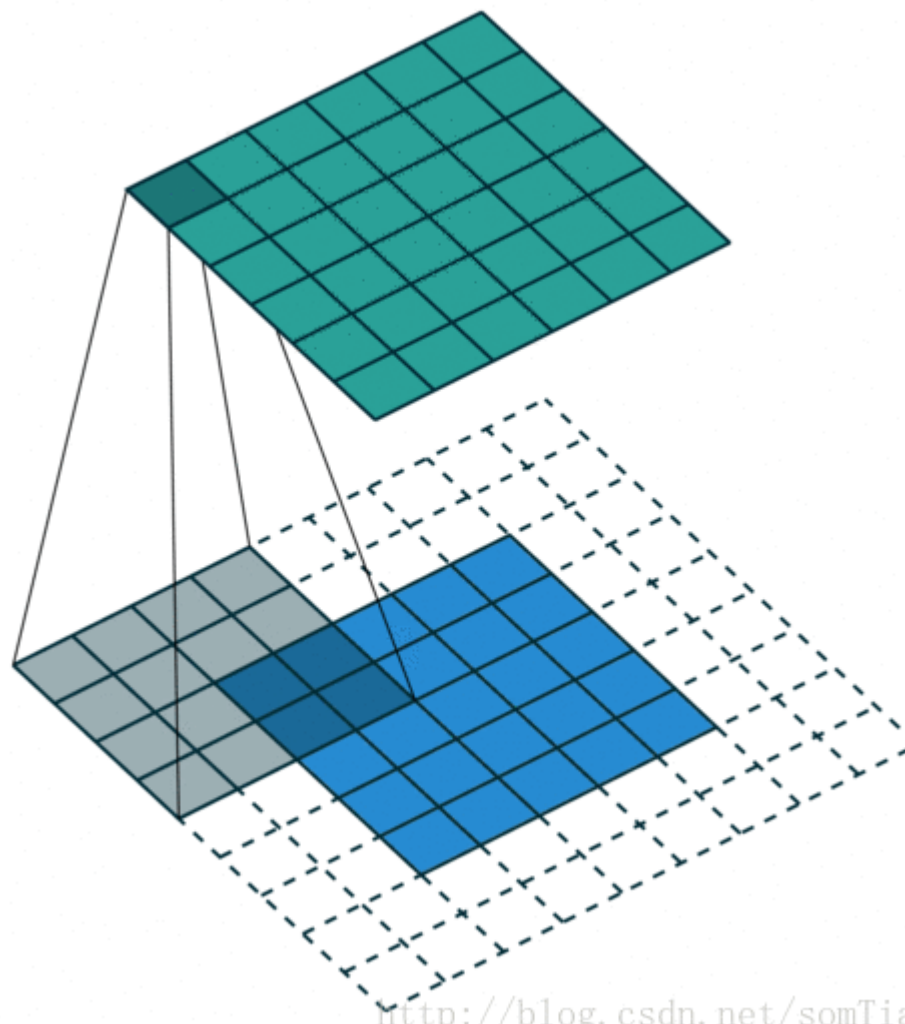
Pooling/децимиращ/редуциращ слой

Инвариантност към отместване и деформации

Shift and distortion invariance or

Subsampling layer

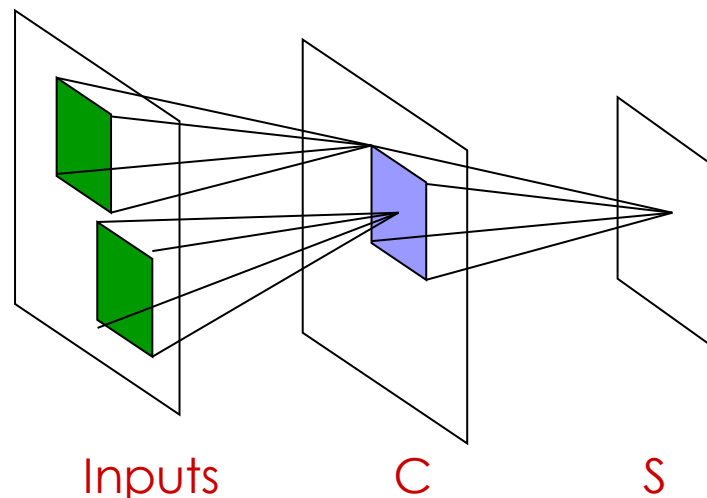
# Извличане на характеристики





# Извличане на характеристики

- **Споделени тегловни коефициенти**: всички неврони отнасящи се за дадена характеристика споделят еднакви тегловни коефициенти. Това не се отнася за отместванията (biases).
- Така, всички неврони откриват една и съща характеристика **на различни позиции** във входното изображение.
- **Намалява се** броят на свободните параметри (обучаемите тегла).



# Предимства на DNN

- DNN работи с минимални усилия за предварителна обработка, конструиране и нормализация на описатели/ дескриптори, подбор на най-дискриминативните описатели и т.н.
- Не се изискват дълбоки предварителни знания за проблема който ще се решава
- Първия етап на обучение може да е *unsupervised*, т.е. с данни които нямат тагове/анотация и едва в заключителния етап на обучението да се осигурят данни с тагове.

# Заклучение

- Това е общата идея
- Съществуват много различни типове deep learning,
- Различни autoencoder-и, различни архитектури, и различни обучаващи алгоритми ...
- Бурно развитие през последните 15 години, истински напредък в последните 3 години ...