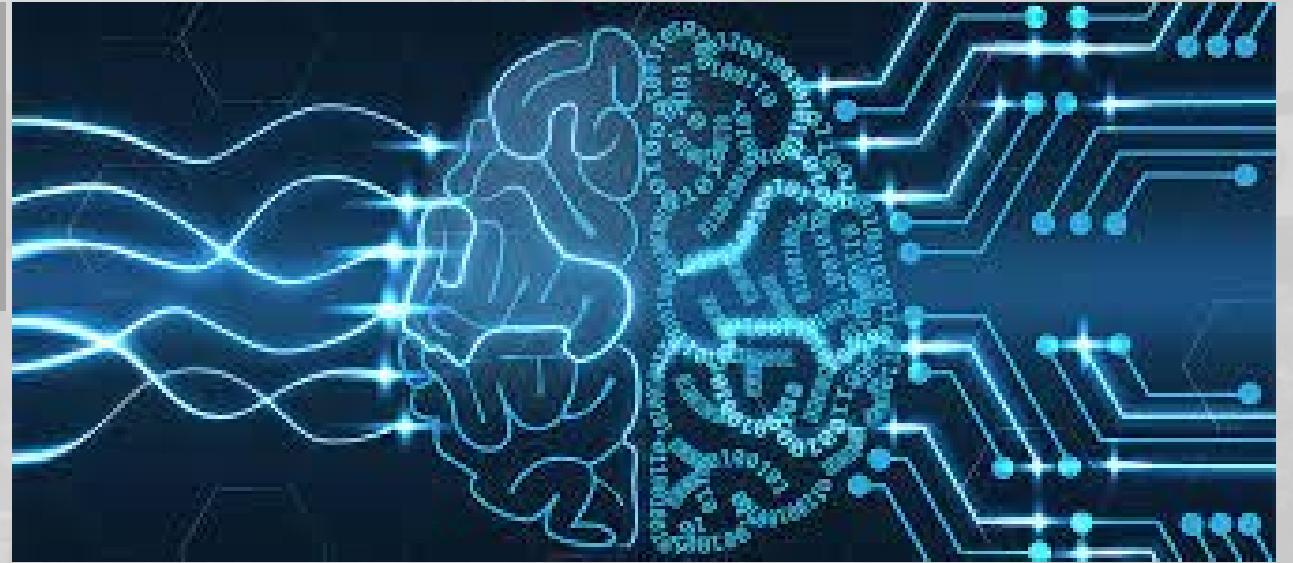


14620323  
**DEEP LEARNING**



Convolutional Networks



Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Teknik Informatika

# PENGAMPU



Dr. Fajar Astuti Hermawati, S.Kom.,M.Kom.



Bagus Hardiansyah, S.Kom.,M.Si



Andrey Kartika Widhy H., S.Kom., M.Kom.



# Capaian Pembelajaran

- Sub-CPMK-3: Mampu menyelesaikan masalah komputasi kompleks dengan menerapkan prinsip-prinsip Jaringan Konvolusi (Convolutional Networks) dalam pembelajaran mendalam [C3, A3]



# Bahan Kajian

- 1 The Convolution Operation
- 2 Motivation
- 3 Pooling
- 4 Convolution and Pooling as an Infinitely Strong Prior
- 5 Variants of the Basic Convolution Function
- 6 Structured Outputs
- 7 Data Types
- 8 Efficient Convolution Algorithms
- 9 Random or Unsupervised Features
- 10 The Neuroscientific Basis for Convolutional Networks
- 11 Convolutional Networks and the History of Deep Learning



# Convolutional Networks

- Jaringan convolutional juga dikenal sebagai **convolutional neural network (CNNs)**
- **Khusus untuk data yang memiliki topologi seperti grid**
  - Kisi/grid 1D – data deret waktu
  - Kisi/grid 2D – data gambar



# Definisi

- Jaringan konvolusional menggunakan konvolusi menggantikan perkalian matriks umum dalam setidaknya satu lapisan
- Konvolusi jaringan saraf tidak berhubungan dengan konvolusi yang digunakan dalam teknik dan matematika





# Convolution Operation

- Konvolusi adalah operasi pada dua fungsi
  - Bagian dimulai dengan contoh konvolusi umum
    - Perataan sinyal dalam menemukan pesawat ruang angkasa dengan sensor laser
- Konvolusi CNN (bukan konvolusi umum)
  - Fungsi pertama adalah input jaringan  $x$ , kedua adalah kernel  $w$
  - **Tensor** mengacu pada array multidimensi
    - Misalnya, input data dan array parameter, jadi TensorFlow
  - Kernel konvolusi biasanya berupa matriks jarang (sparse) yang berbeda dengan matriks bobot yang terhubung penuh (fully-connected ) biasanya



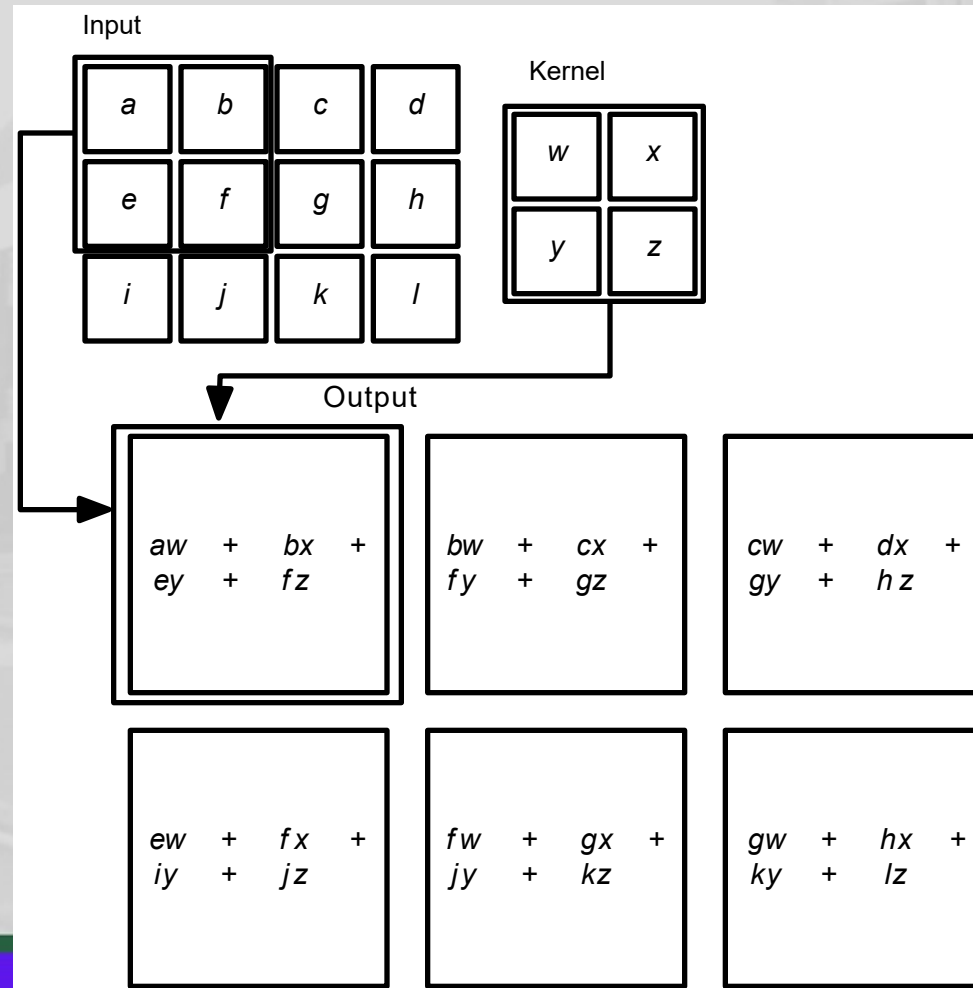
# Convolution Operation

- Konvolusi adalah operasi pada dua fungsi
  - Bagian dimulai dengan contoh konvolusi umum
    - Perataan sinyal dalam menemukan pesawat ruang angkasa dengan sensor laser
- Konvolusi CNN (bukan konvolusi umum)
  - Fungsi pertama adalah input jaringan  $x$ , kedua adalah kernel  $w$
  - **Tensor** mengacu pada array multidimensi
    - Misalnya, input data dan array parameter, jadi TensorFlow
  - Kernel konvolusi biasanya berupa matriks jarang (sparse) yang berbeda dengan matriks bobot yang terhubung penuh (fully-connected ) biasanya





# 2D Convolution



# Motivation

- Konvolusi memanfaatkan tiga ide penting yang membantu meningkatkan sistem pembelajaran mesin
  - Interaksi jarang (Sparse interactions)
  - Pembagian parameter
  - Representasi ekuivalen



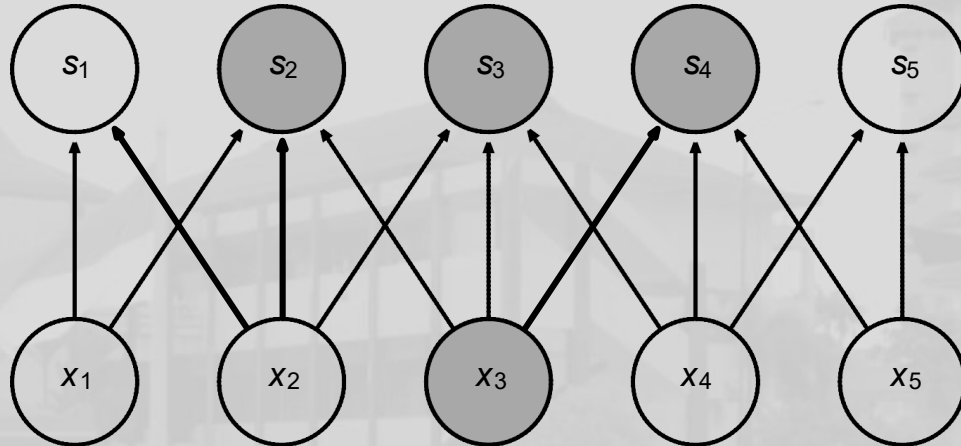
# Sparse Interactions

- Jaringan tradisional yang terhubung sepenuhnya
  - $m$  masukan dalam satu lapisan dan  $n$  keluaran pada lapisan berikutnya
  - membutuhkan waktu proses  $O(m \times n)$  (per contoh)
- Interaksi jarang
  - Juga disebut konektivitas jarang atau bobot jarang
  - Dilakukan dengan membuat kernel lebih kecil dari input
    - $k \ll m$  membutuhkan waktu proses  $O(k \times n)$  (per contoh)
    - $k$  biasanya beberapa kali lipat lebih kecil dari  $m$



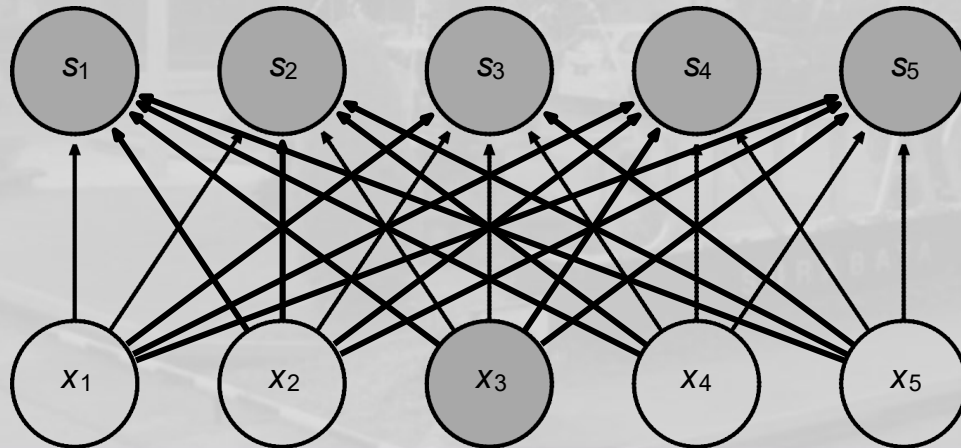
# Sparse Connectivity ( Konektivitas Jarang)

Koneksi jarang  
karena kernel  
konvolusi kecil



Dilihat  
dari  
bawah

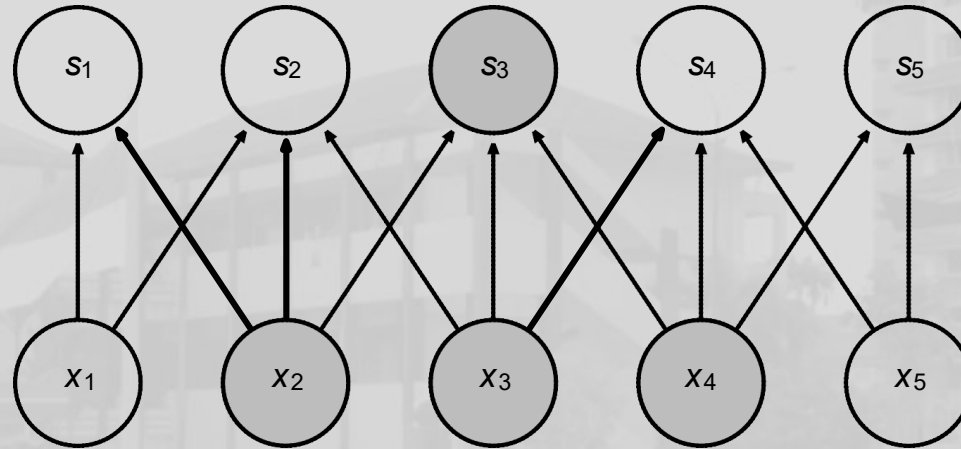
Dense  
connections  
Fully  
connected





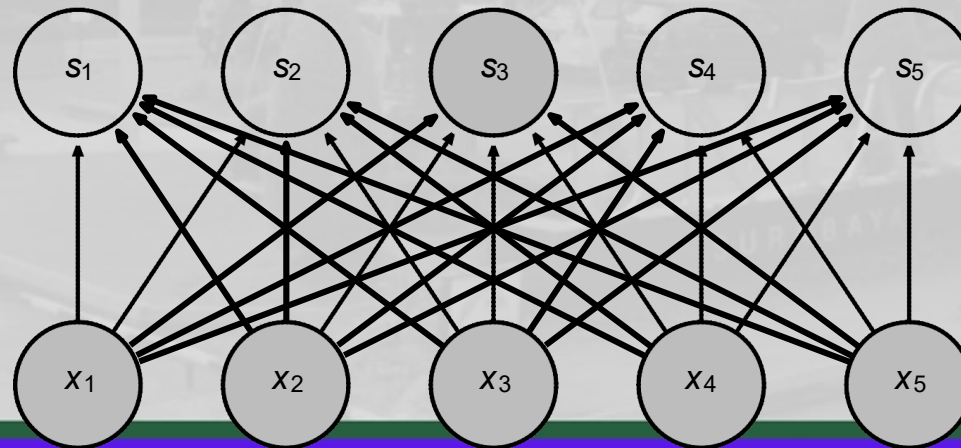
# Sparse Connectivity (Konektivitas Jarang)

Koneksi  
jarang  
karena kernel  
konvolusi  
kecil



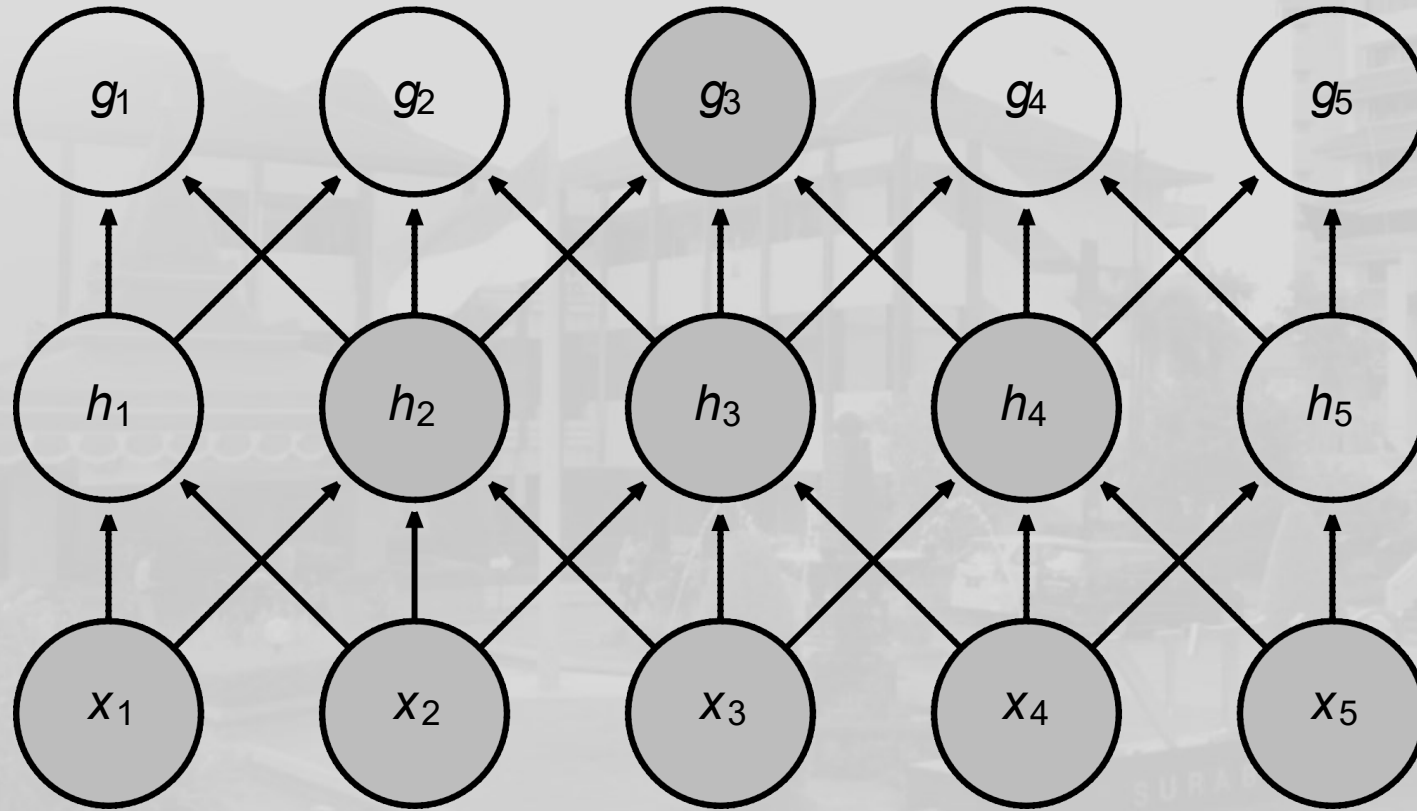
Dilihat dari  
atas  
(bidang  
reseptif)

Dense  
connections  
Fully  
connected





# Mengembangkan Bidang Reseptif



Unit lapisan yang lebih dalam memiliki medan reseptif yang lebih besar

# Parameter Sharing

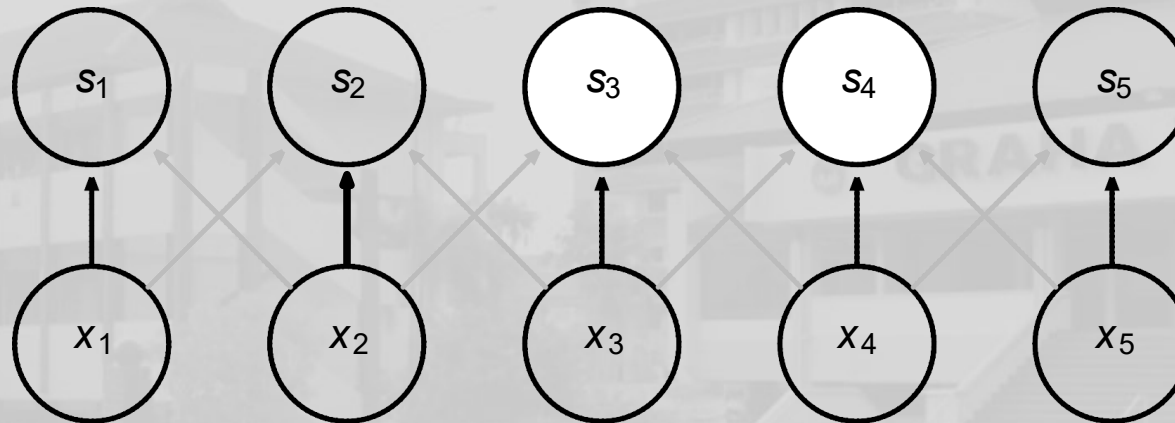
- Dalam jaringan saraf tradisional
  - Setiap elemen dari matriks bobot adalah unik
- Berbagi parameter berarti menggunakan parameter yang sama untuk lebih dari satu fungsi model
  - Jaringan telah mengikat bobot
  - Mengurangi kebutuhan penyimpanan menjadi  $k$  parameter
  - Tidak memengaruhi runtime penyanga maju  $O(k \times n)$



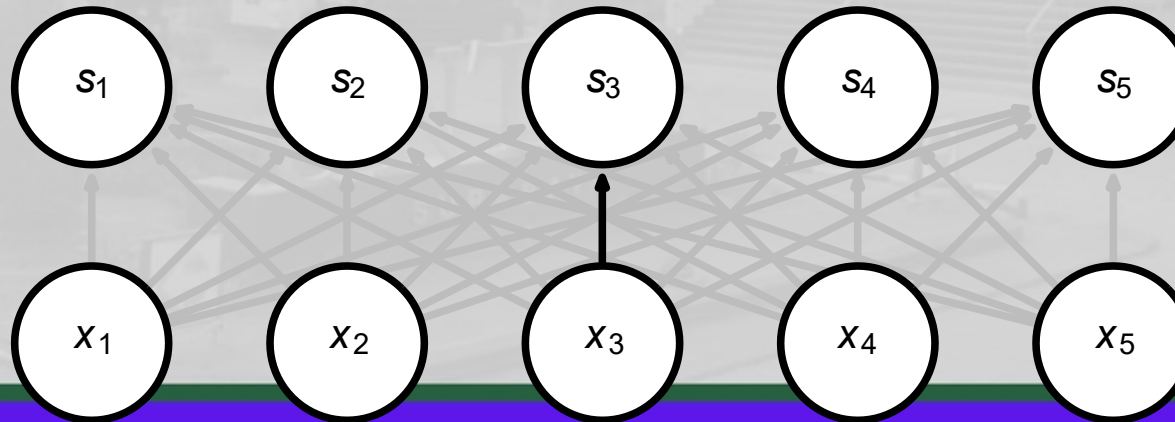
# Parameter Sharing

Black arrows = particular parameter

Konvolusi memiliki parameter yang sama di semua lokasi spasial



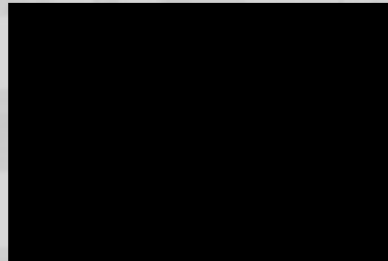
Perkalian matriks tradisional tidak memiliki parameter apapun



# Edge Detection by Convolution

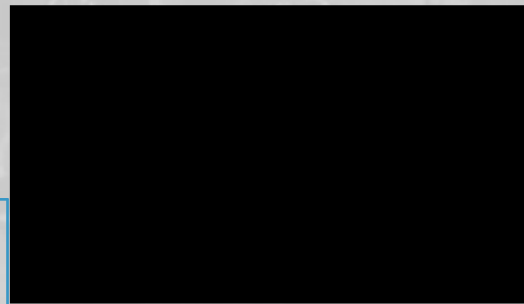


Input

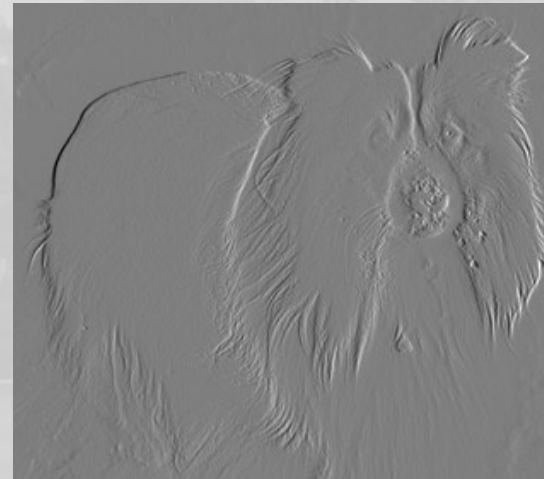


-1	1
----	---

Kernel  $k=2$



Right image = each orig pixel – left pixel detects edges



Output





# Efficiency of Convolution

Input size: 320 by 280

Kernel size: 2 by 1

Output size: 319 by 280

	Convolution	Dense matrix Fully connected	Sparse matrix
Stored floats Each weight	2	$319 \times 280 \times 320 \times 280$ > 8e9	$2 \times 319 \times 280 =$ 178,640
Float mults+adds Forward computation	$319 \times 280 \times 3 =$ 267,960	> 16e9	Same as convolution (267,960)





# Representasi Ekuivarian

- Untuk fungsi invarian, jika input berubah, output berubah dengan cara yang sama
- Untuk konvolusi, bentuk pembagian parameter tertentu menyebabkan kesetaraan terhadap translasi (**equivariance to translation**)
  - Dalam pengolahan gambar, mendeteksi tepi berguna pada lapisan pertama, dan tepi muncul hampir di mana-mana pada gambar.



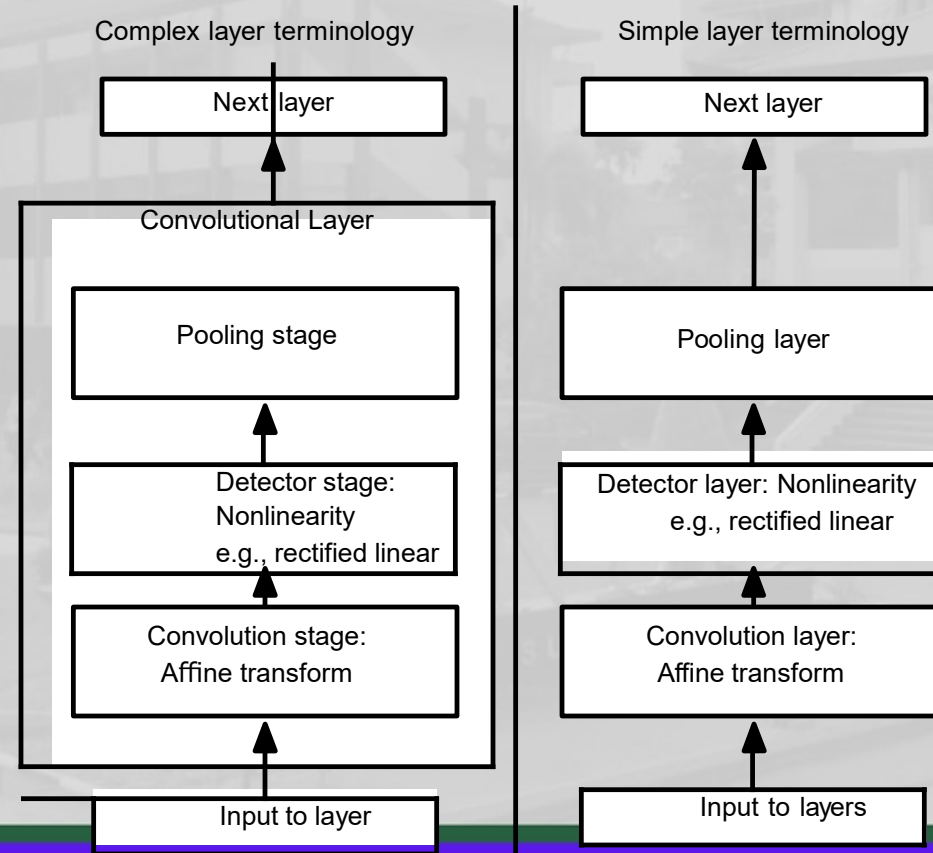
# Pooling

- Fungsi *pooling* menggantikan output jaringan di lokasi tertentu dengan statistik ringkasan output di dekatnya
  - **Max pooling** melaporkan output maksimum dalam lingkungan persegi panjang
  - **Average pooling** melaporkan output rata-rata
- *Pooling* membantu membuat representasi kira-kira invarian terhadap terjemahan input kecil

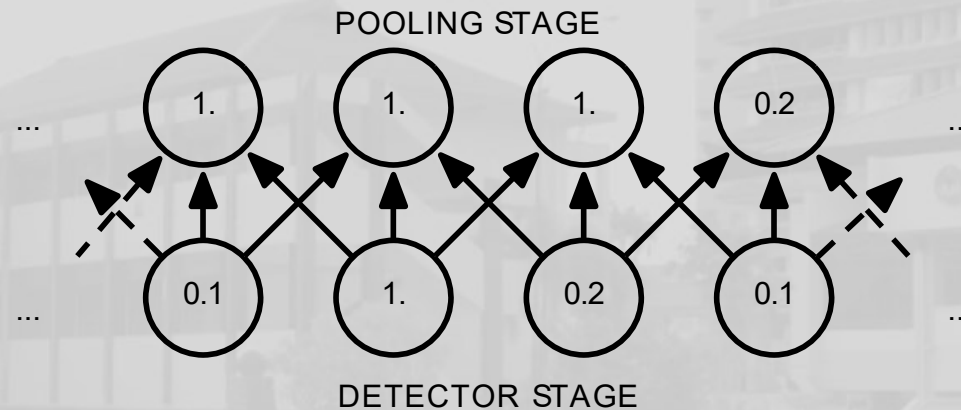


# Convolutional Network Components

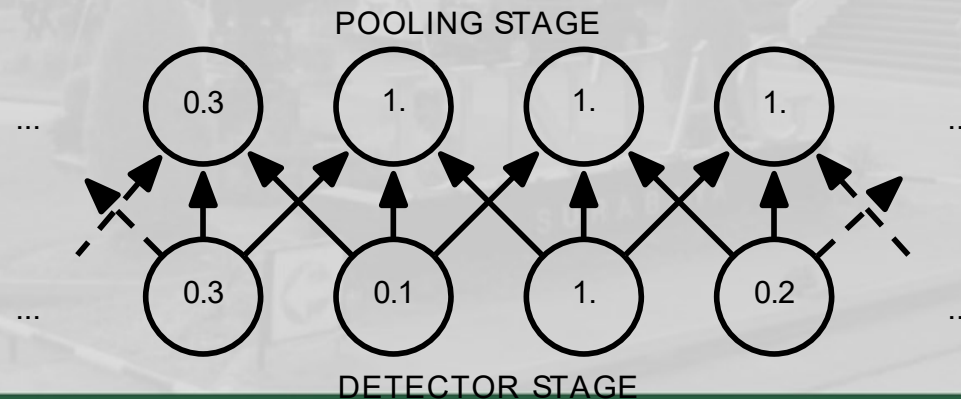
Two common terminologies



# Max Pooling & Invariance to Translation



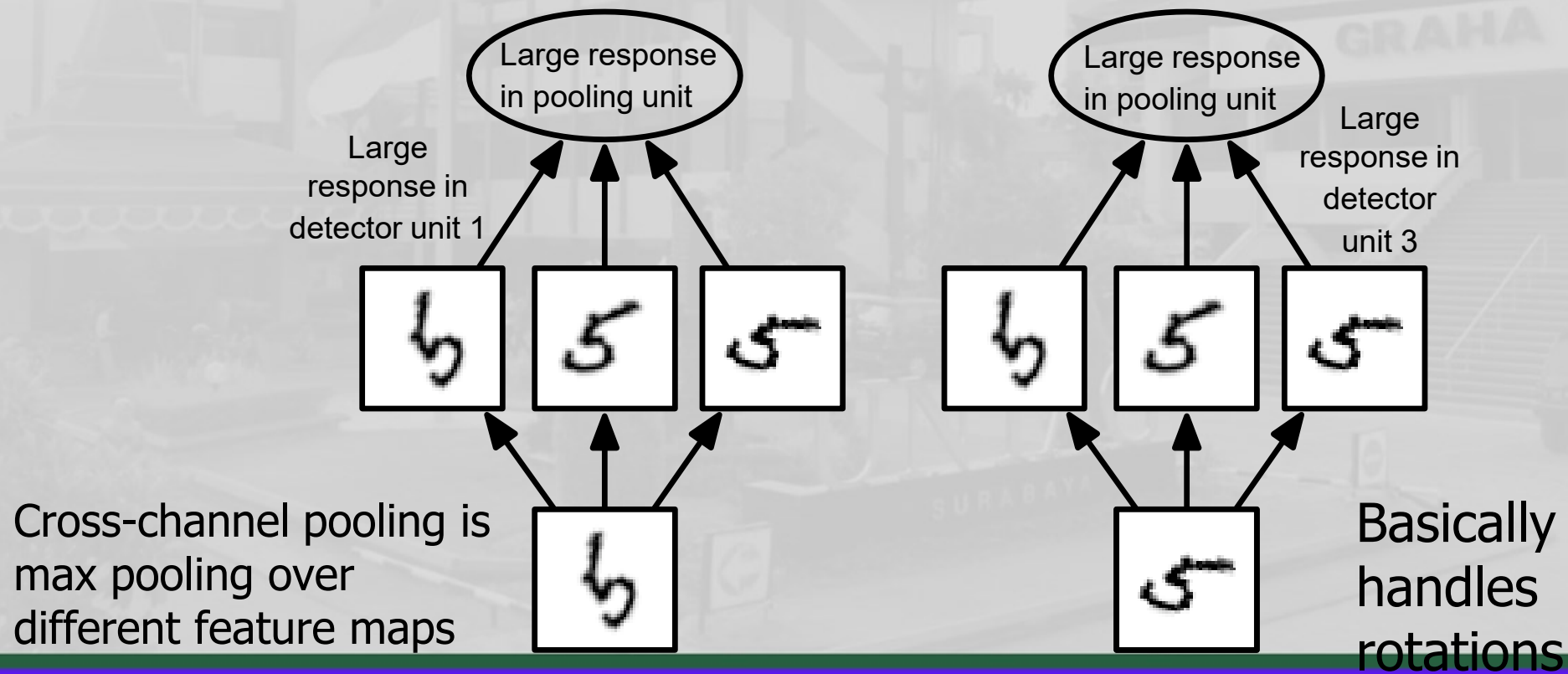
Jaringan yang sama dengan input bergeser satu piksel ke kanan



Sedikit perubahan pada tahap penggabungan

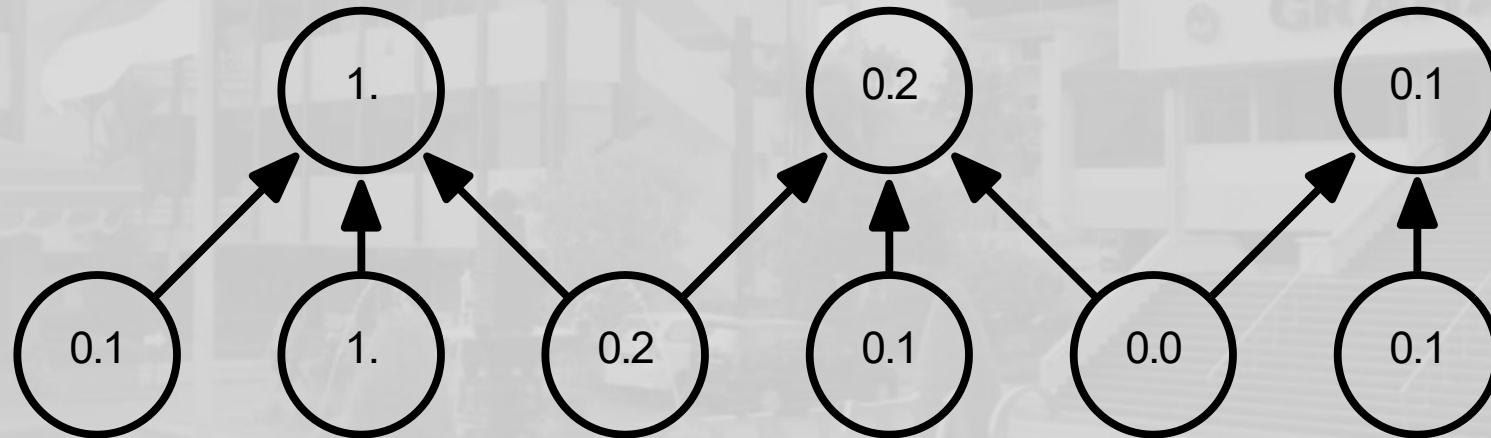


# Cross-Channel Pooling & Invariance to Learned Transformations



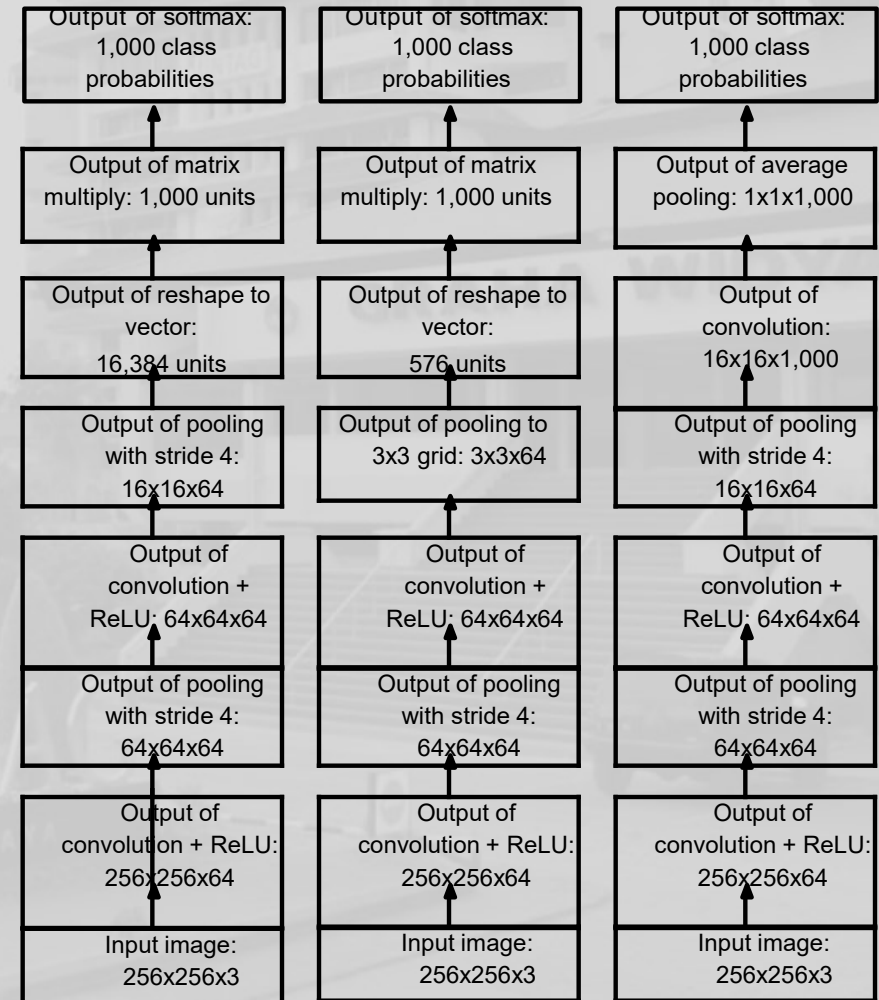


# Pooling with Downsampling



Max pooling  
downsized in next layer

# Example Classification Architectures



# Convolution and Pooling as an Infinitely Strong Prior

- Probabilitas sebelumnya (keyakinan sebelum kita melihat data aktual) bisa kuat atau lemah
  - Prior yang lemah (misalnya, distribusi Gaussian dengan varians tinggi) memungkinkan data untuk memindahkan parameter
  - Prior yang kuat (misalnya, distribusi Gaussian dengan varians rendah) sangat menentukan parameter
  - **infinitely strong prior (prior yang sangat kuat)** mengontrol parameter
- Jaring konvolusional  $\sim$  prior yang sangat kuat
  - Bobotnya nol kecuali di medan reseptif kecil
  - Bobot identik untuk unit tersembunyi di dekatnya



# Convolution and Pooling as an Infinitely Strong Prior

- Konvolusi dan penggabungan dapat menyebabkan underfitting
  - Prior hanya berguna jika asumsi yang dibuat oleh prior cukup akurat
  - Jika tugas bergantung pada pelestarian informasi spasial yang tepat, maka penggabungan dapat meningkatkan kesalahan pelatihan
  - Prior yang diberlakukan oleh konvolusi harus sesuai





# Variants of the Basic Convolution Function

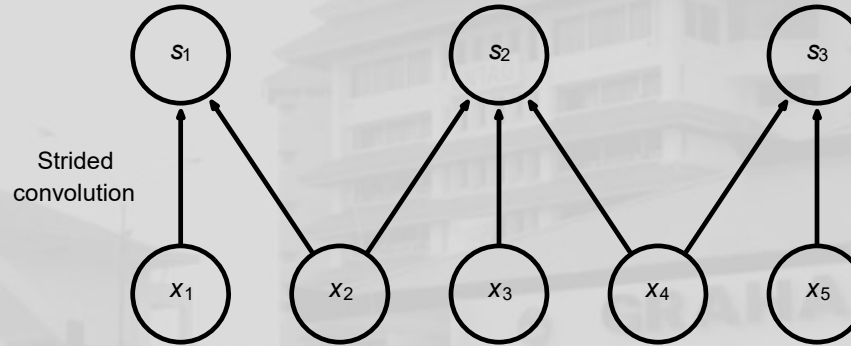
- **Stride** adalah jumlah downsampling
  - Dapat memiliki langkah terpisah ke arah yang berbeda
- **Zero padding** menghindari penyusutan lapisan ke lapisan
- **Unshared convolution**
  - Seperti konvolusi tetapi tanpa berbagi
- **Konektivitas parsial antar saluran**
- **Tiled convolution**
  - Berputar di antara grup parameter bersama



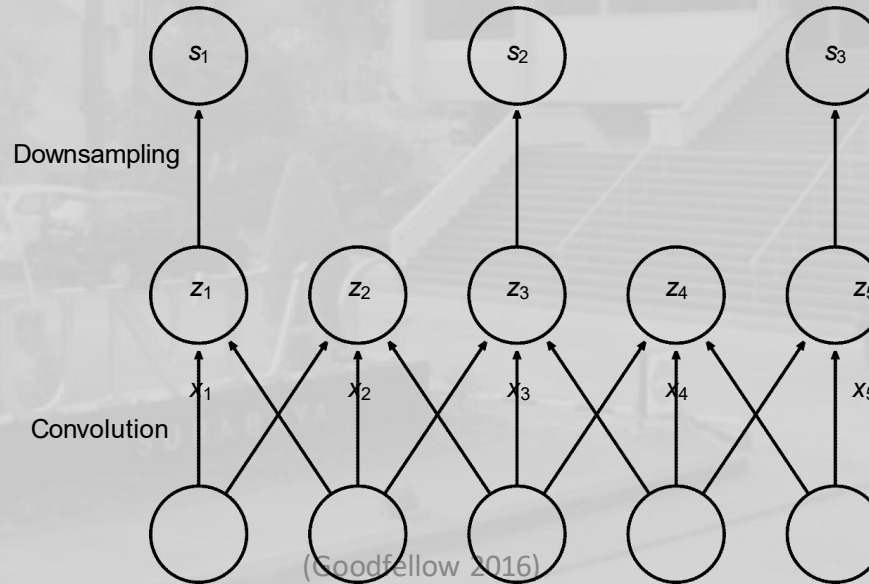


# Convolution with Stride

Stride  
of two



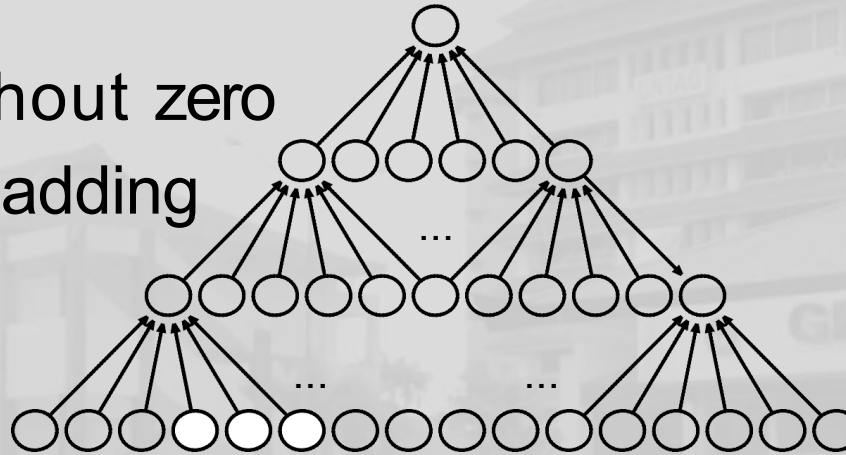
Equivalent to  
above but  
computationally  
wasteful



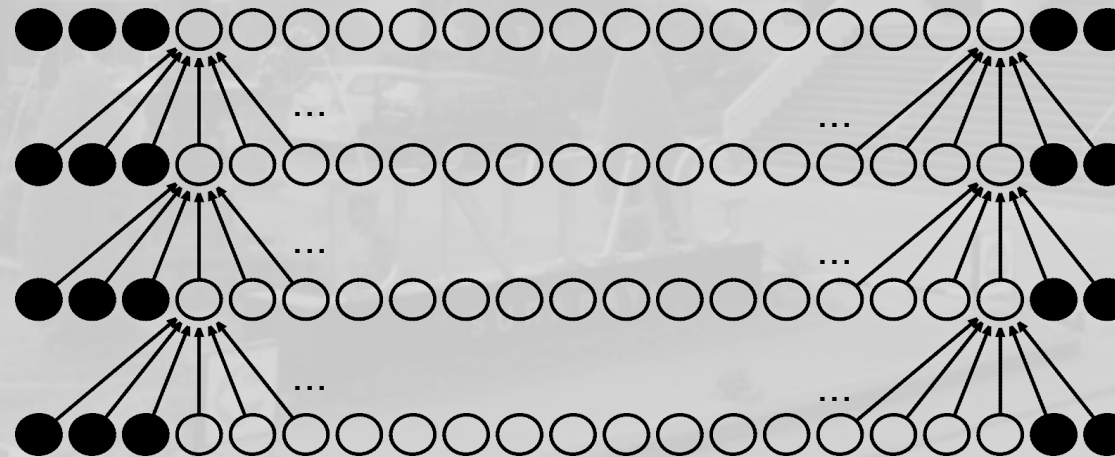
# Zero Padding Controls Size

Kernel width of six

Without zero padding



With zero padding  
Prevents shrinking

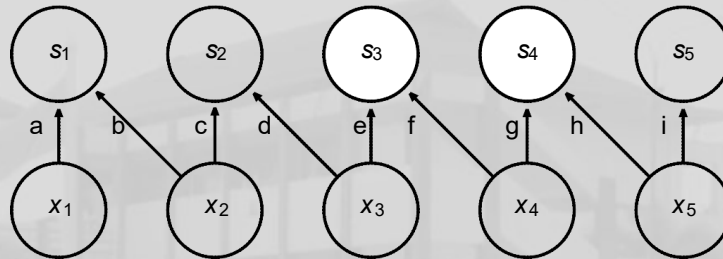


Goodfellow 2016)

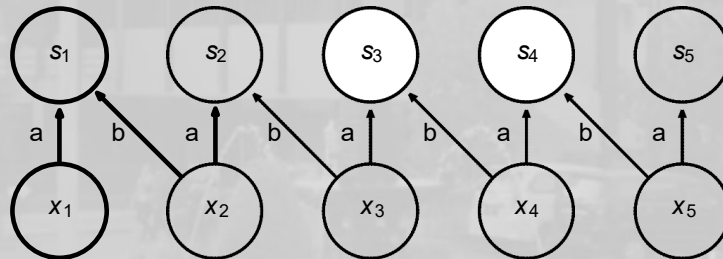


# Kinds of Connectivity

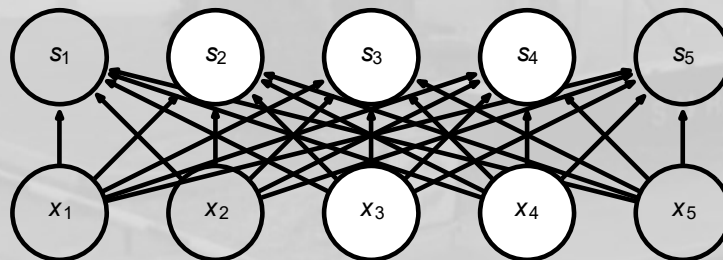
Unshared convolution



Local connection:  
like convolution,  
but no sharing



Convolution

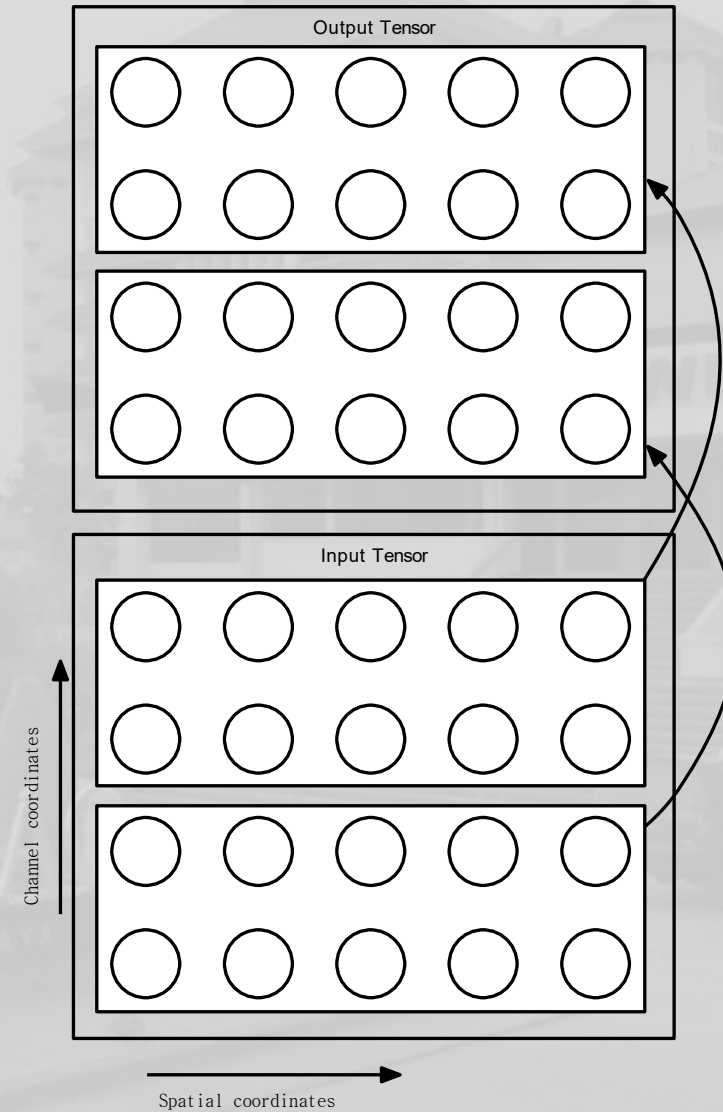


Fully connected



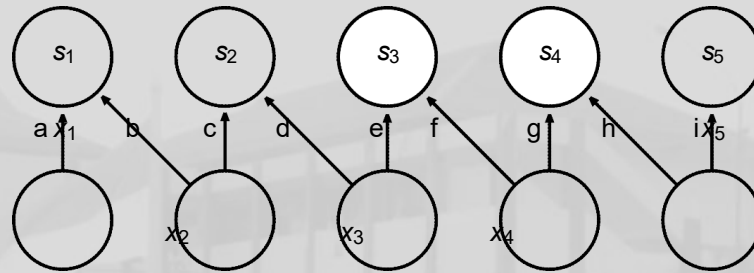
# Partial Connectivity Between Channels

Each output channel is a function of only a subset of the input channels

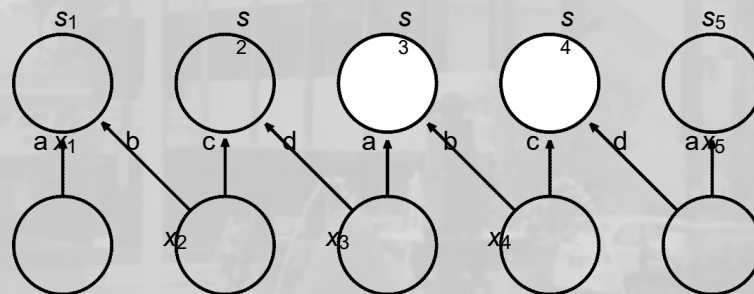




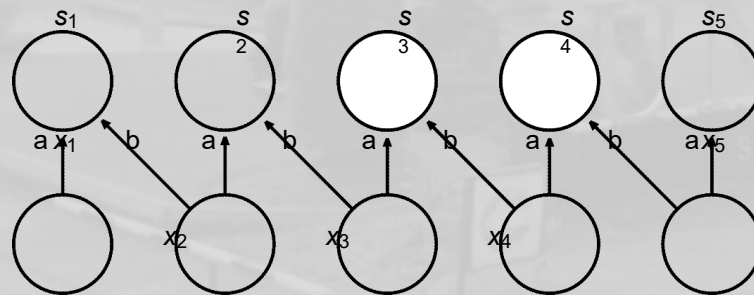
# Tiled convolution



Local connection  
(no sharing)



**Tiled convolution**  
(cycle between shared  
parameter groups)



Standard convolution  
(one group shared  
everywhere)

# Structured Outputs

- Jaringan konvolusional biasanya digunakan untuk klasifikasi.
- Jaringan ini juga dapat digunakan untuk menghasilkan objek berdimensi tinggi dan terstruktur.
  - Objeknya biasanya berupa tensor



# Data Types

- Contoh saluran tunggal:
  - Bentuk gelombang audio 1D
  - Data audio 2D setelah transformasi Fourier
    - Frekuensi versus waktu
- Contoh multi-saluran:
  - Data gambar berwarna 2D
    - Tiga saluran: piksel merah, piksel hijau, piksel biru
    - Setiap saluran adalah 2D untuk gambar



# Efficient Convolution Algorithms

- Merancang cara yang lebih cepat untuk melakukan konvolusi atau konvolusi perkiraan tanpa merusak keakuratan model adalah bidang penelitian yang aktif.
- Namun, sebagian besar pekerjaan disertasi menyangkut kelayakan dan bukan efisiensi.





# Random or Unsupervised Features

- Salah satu cara untuk mengurangi biaya pelatihan jaringan konvolusional adalah dengan menggunakan fitur yang tidak dilatih secara terbimbing.
- Tiga metode (Rosenblatt menggunakan dua metode pertama)
  1. Cukup inialisasi kernel konvolusional secara acak
  2. Desain secara manual
  3. Pelajari kernel menggunakan metode tanpa pengawasan



# The Neuroscientific Basis for Convolutional Networks

- Jaringan konvolusional mungkin merupakan kisah sukses terbesar dari AI yang terinspirasi secara biologis
- Beberapa prinsip desain utama jaringan saraf diambil dari ilmu saraf
  - Hubel dan Wiesel memenangkan hadiah Nobel pada tahun 1981 atas karya mereka pada sistem visual kucing tahun 1960-an hingga 1970-an



# The Neuroscientific Basis for Convolutional Networks

- Neuron di retina melakukan pemrosesan sederhana, tidak mengubah representasi gambar
- Gambar melewati saraf optik ke daerah otak yang disebut badan genikulatum lateral
- Sinyal kemudian mencapai area korteks visual V1
  - V1 juga disebut **primary visual cortex**
  - Area pertama otak yang melakukan pemrosesan lanjutan terhadap masukan visual
  - Terletak di bagian belakang kepala



# The Neuroscientific Basis for Convolutional Networks

- Properti V1 ditangkap dalam jaringan konvolusional
- V1 has a 2D structure mirroring the retina image
  - V1 berisi banyak **simple cells**
    - Masing-masing dicirikan oleh fungsi linier gambar dalam bidang reseptif kecil yang terlokalisasi secara spasial
  - V1 berisi banyak **complex cells**
    - Sel-sel ini merespons fitur yang mirip dengan sel-sel sederhana
    - Namun tidak berubah terhadap pergeseran kecil pada posisi fitur
    - Strategi pengumpulan yang terinspirasi seperti unit maksimal





# The Neuroscientific Basis for Convolutional Networks

- Meskipun kami mengetahui lebih banyak tentang area V1, kami percaya prinsip serupa berlaku di area lain
  - Strategi dasar deteksi diikuti dengan pooling
- Melewati lapisan yang lebih dalam, kita menemukan sel yang merespons konsep tertentu
  - Sel-sel ini dijuluki “sel nenek” (“grandmother cells”)
    - Idenya adalah bahwa neuron aktif saat melihat nenek mereka di mana pun dalam gambar

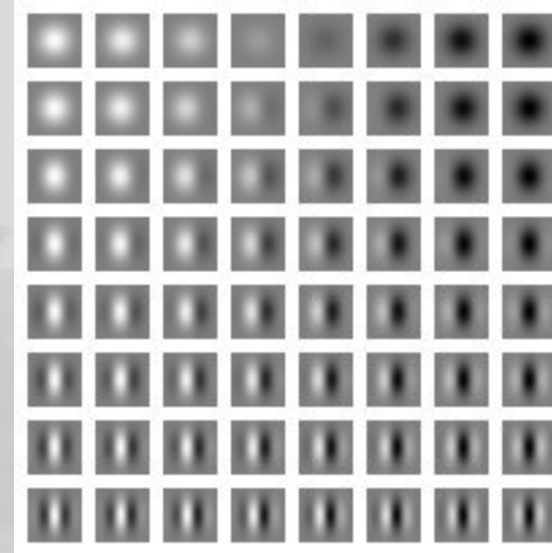
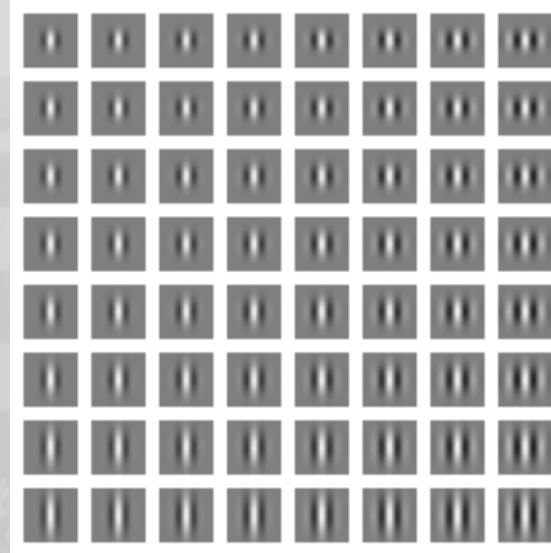
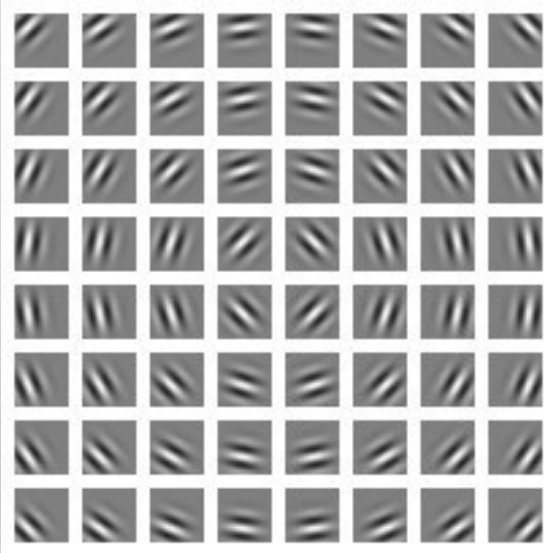


# The Neuroscientific Basis for Convolutional Networks

- Korelasi terbalik
  - Dalam jaringan biologis, kita tidak memiliki akses terhadap bobot itu sendiri.
  - Namun, kita dapat menempatkan elektroda di neuron, menampilkan gambar di depan retina hewan, dan merekam aktivasi neuron.
  - Kemudian, kita dapat menyesuaikan model linier dengan respons ini untuk memperkirakan bobot neuron.
- Sebagian besar sel V1 memiliki bobot fungsi Gabor

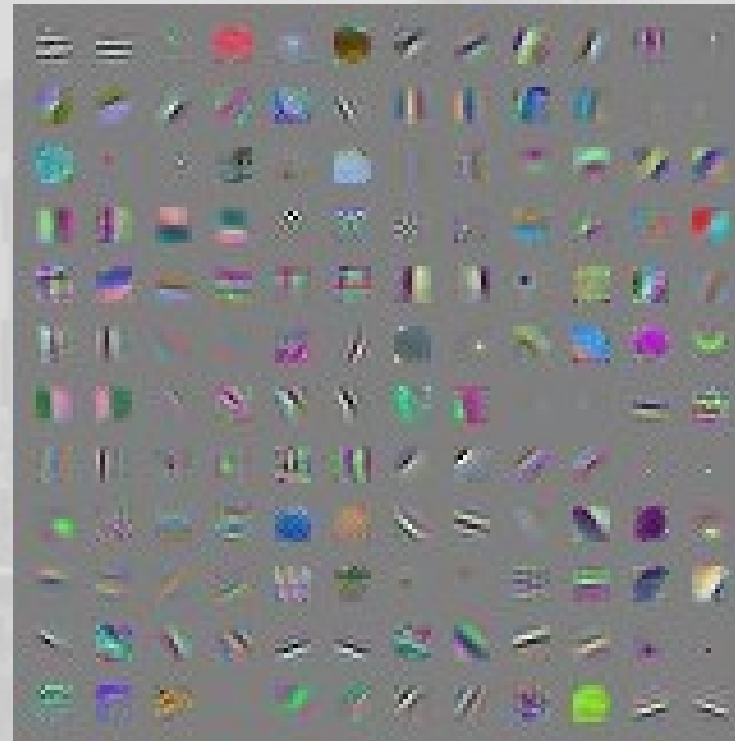
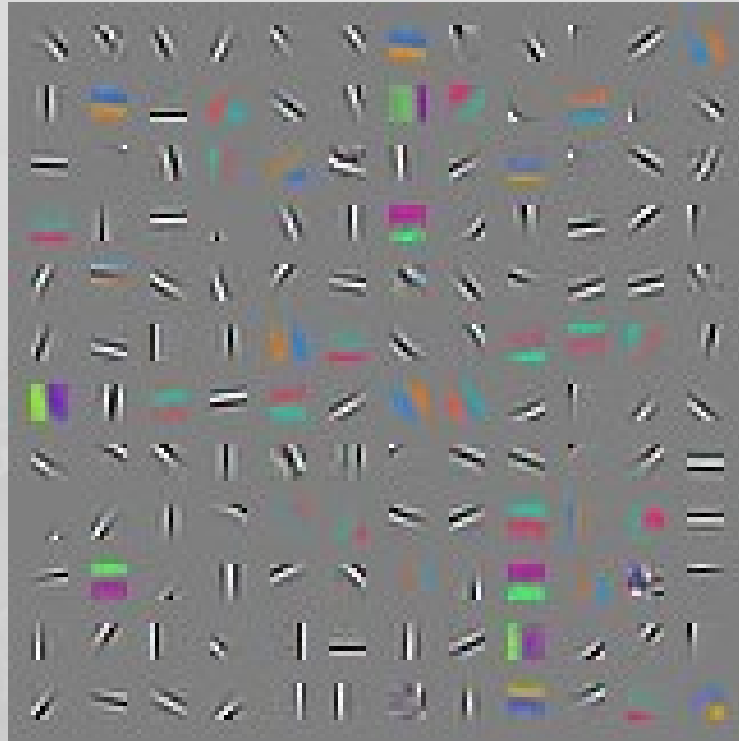


# Gabor Functions



Putih = bobot positif, hitam = negatif, abu-abu = bobot nol(Kiri) detektor dalam orientasi berbeda, (Tengah) detektor dengan lebar dan tinggi yang meningkat, (Kanan) parameter sinusoidal berbeda

# Gabor-like Learned Kernels



(Kiri) Bobot yang dipelajari oleh pembelajaran tanpa pengawasan (Kanan)  
Kernel konvolusional yang dipelajari oleh lapisan pertama jaringan maxout  
konvolusional yang diawasi penuh





# Convolutional Networks and the History of Deep Learning

- Jaringan konvolusional telah memainkan peran penting dalam sejarah pembelajaran mendalam
  - Penerapan ilmu saraf pada pembelajaran mesin
  - Model mendalam pertama yang berkinerja baik
  - Penerapan komersial penting pertama
  - Digunakan untuk memenangkan banyak kontes
  - Beberapa jaringan mendalam pertama yang dilatih dengan back-prop
  - Berkinerja baik beberapa dekade lalu untuk membuka jalan menuju penerimaan jaringan saraf secara umum



# Convolutional Networks and the History of Deep Learning

- Jaringan konvolusional memungkinkan jaringan saraf khusus untuk topologi berstruktur grid
  - Paling berhasil pada topologi gambar 2D
  - Untuk data sekuensial 1D, kami menggunakan jaringan berulang



# References

- Goodfellow, I; Bengio, Y.; Courville, A (2016). Deep Learning. MIT Press pp: 224 - 270

