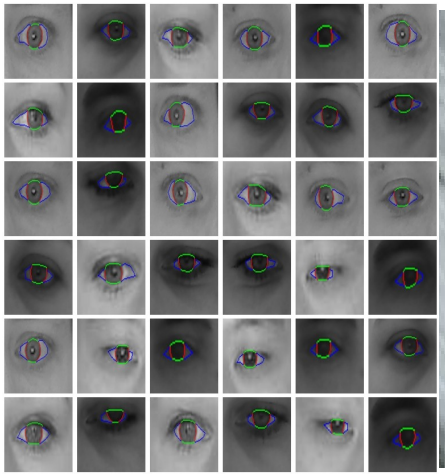
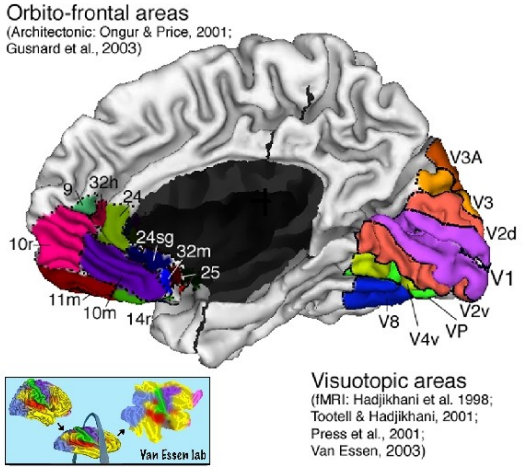
Computer Vision „Crashkurs“

BarCamp Wien, 29.05.2010





Dr. Alexander K. Seewald

SEEWALD SOLUTIONS

Übersicht

Einleitung - Das menschliche Sehsystem

- Algorithmen – SIFT, BDTHF, Conv. NN
- Frameworks – OpenCV, ImageJ, WEKA

- Demos OpenCV Facedetection, Google Goggles

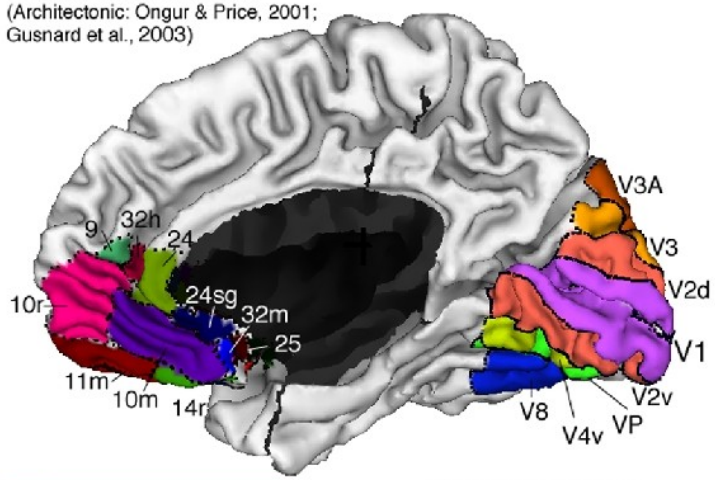
Anwendungen

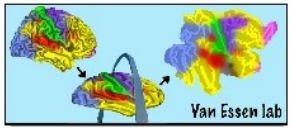
- Magazinseiten-Erkennung (SIFT)
- Erkennung von Go-Spielpos. (SIFT/ImageJ,WEKA)
- Low-cost Eyetracking (BDTHF/OpenCV,WEKA)
- Entflickerung von Highspeed-Video (OpenCV)

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

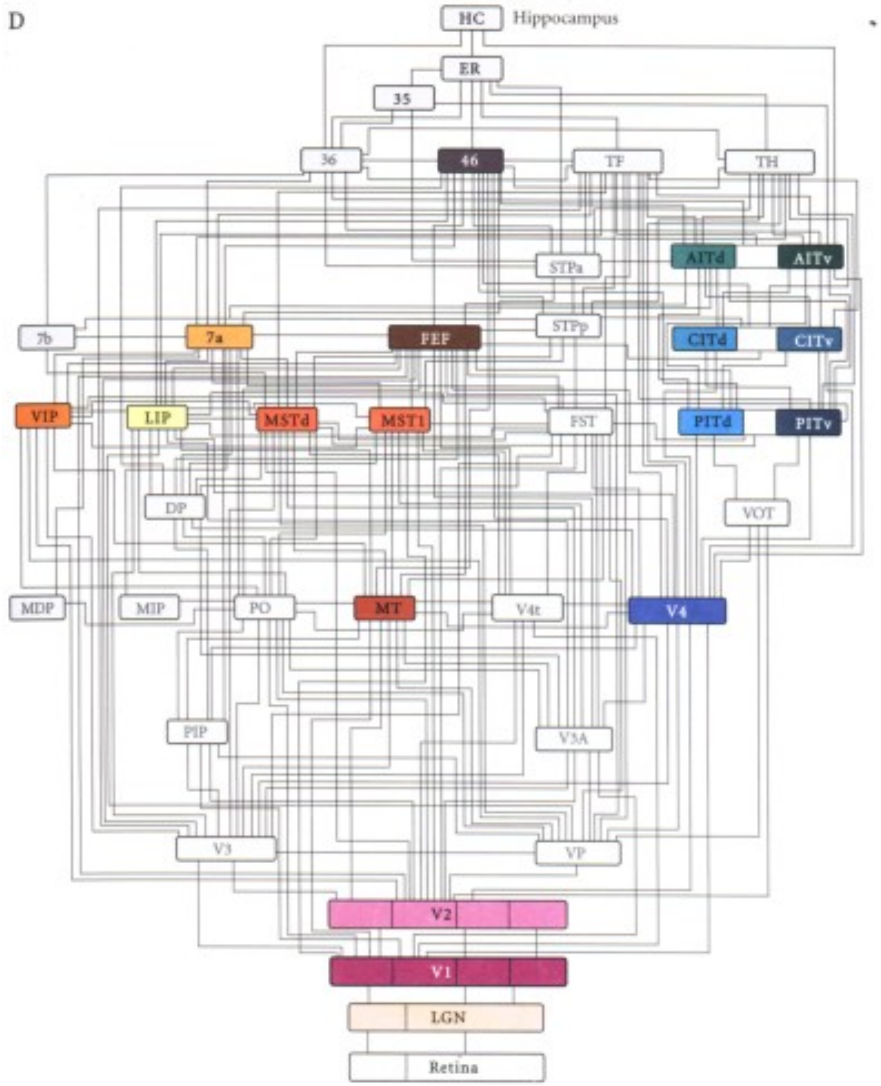
The Human Visual System (1)

Orbito-frontal areas
(Architectonic: Ongur & Price, 2001;
Gusnard et al., 2003)





Visuotopic areas
(fMRI: Hadjikhani et al. 1998;
Tootell & Hadjikhani, 2001;
Press et al., 2001;
Van Essen, 2003)

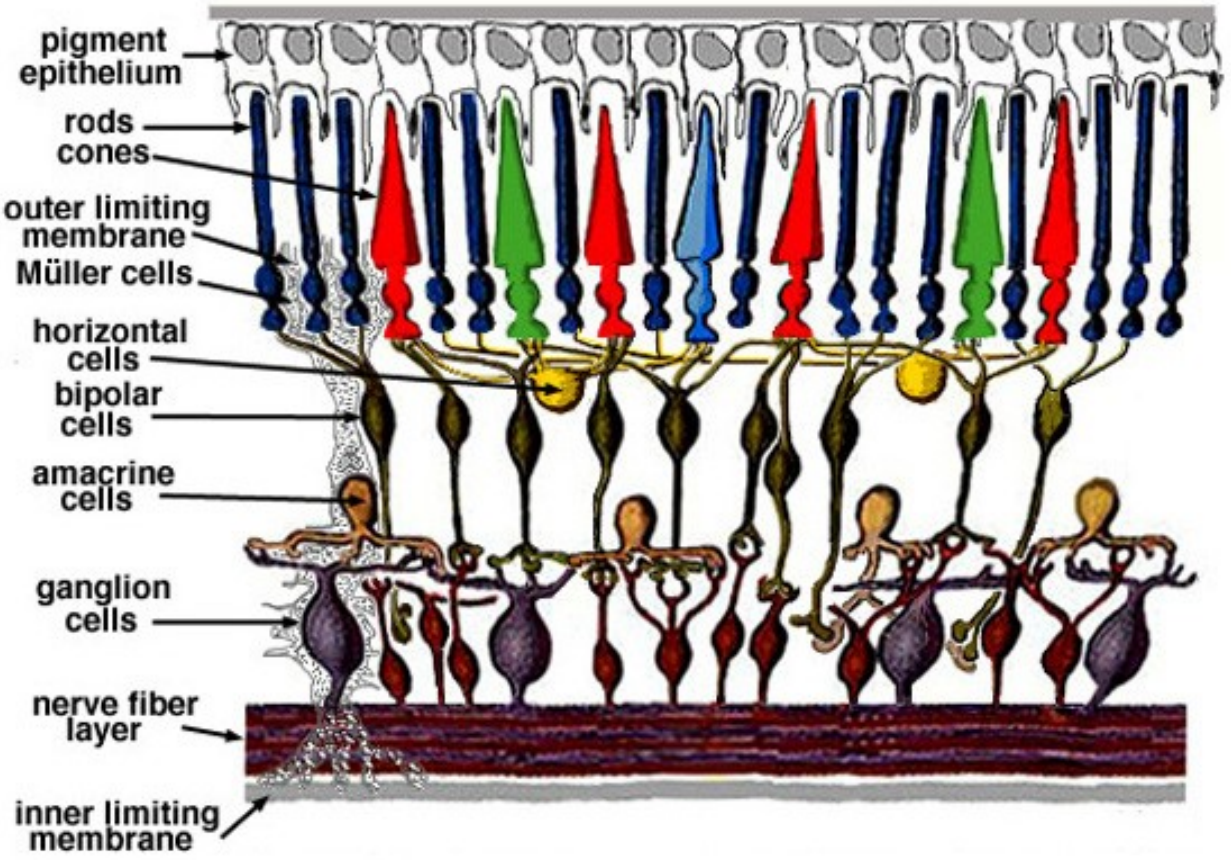


SEEWALD SOLUTIONS

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

The Human Visual System (2)

The Retina

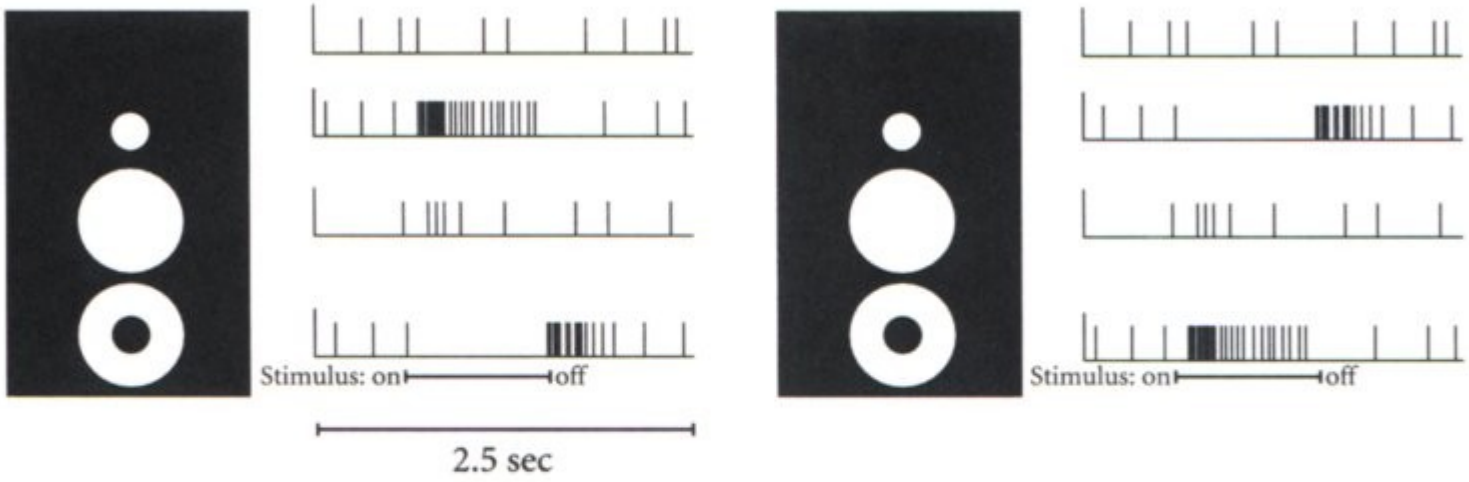


SEEWALD SOLUTIONS

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

The Human Visual System (3)

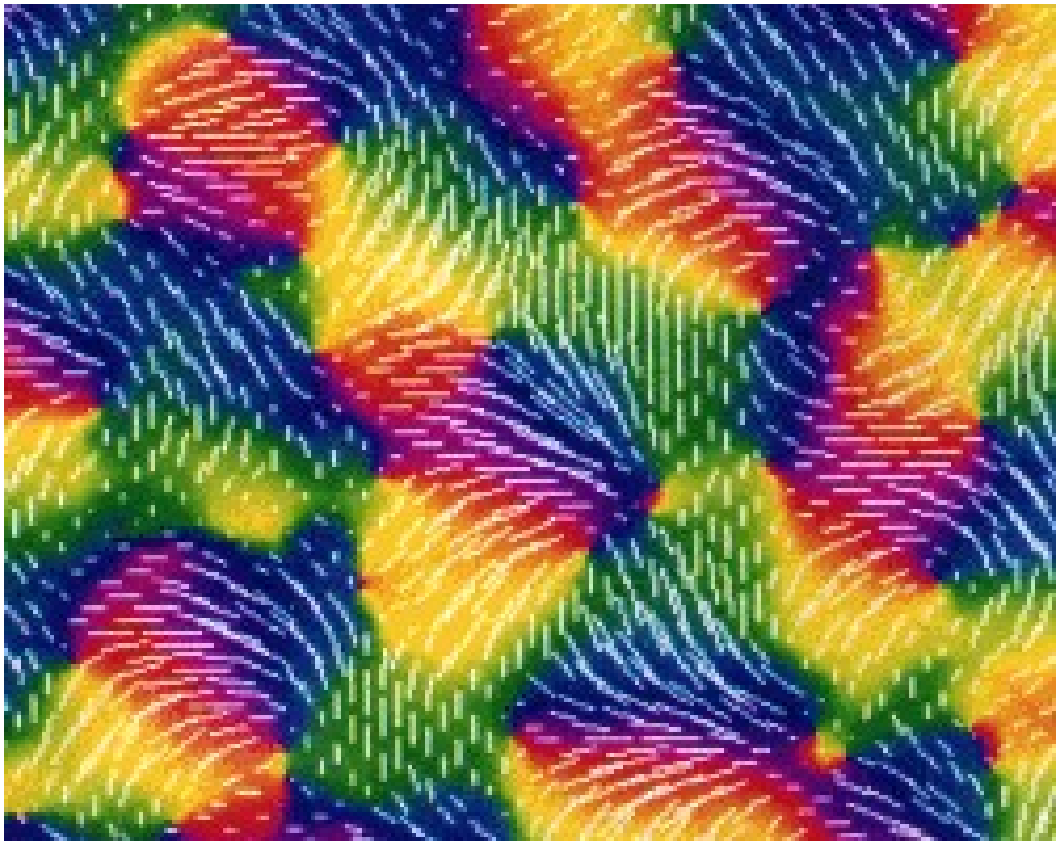
Ganglion cells are sensitive to brightness differences (Left: on-center cell, right: off-center cell)



SEEWALD SOLUTIONS
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

The Human Visual System (4)

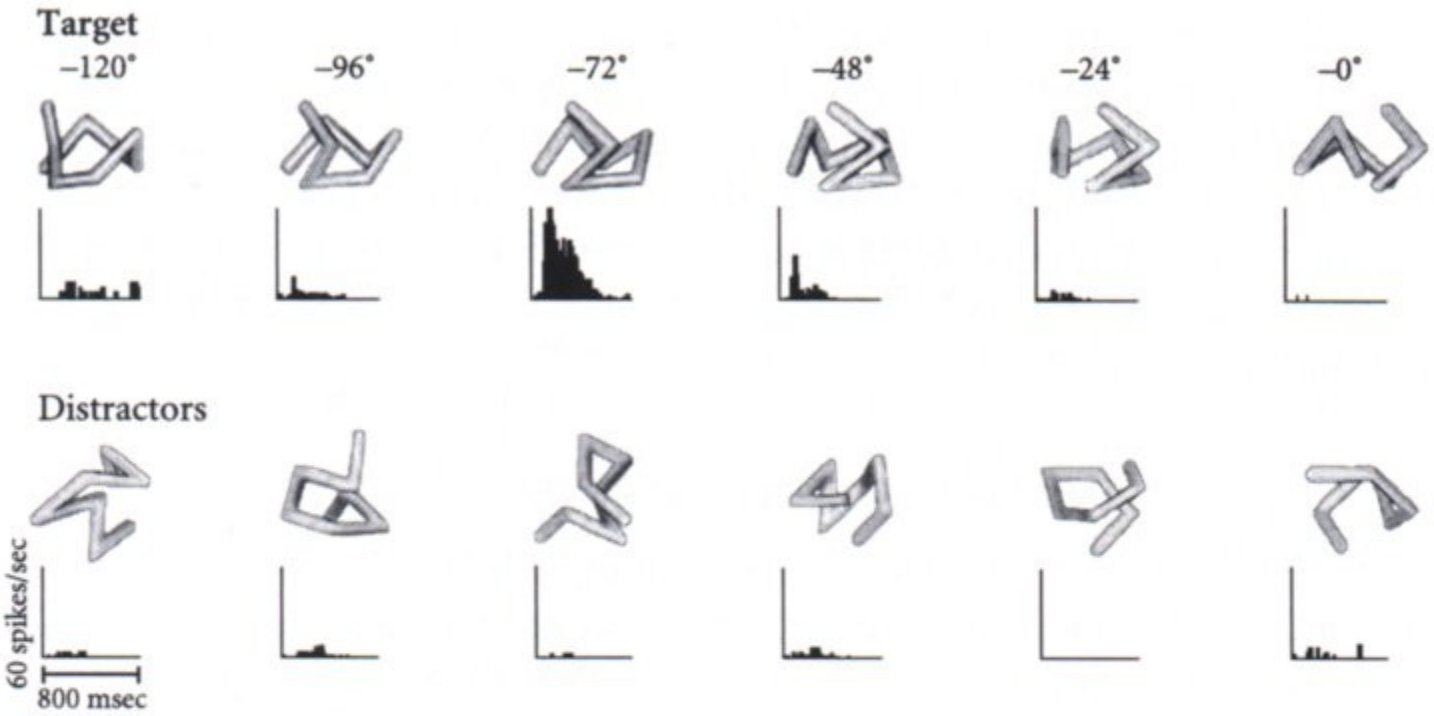
Orientation columns in primary visual cortex are sensitive to image gradients in specific directions.



alex@seewald.at
http://www.seewald.at

The Human Visual System (5)

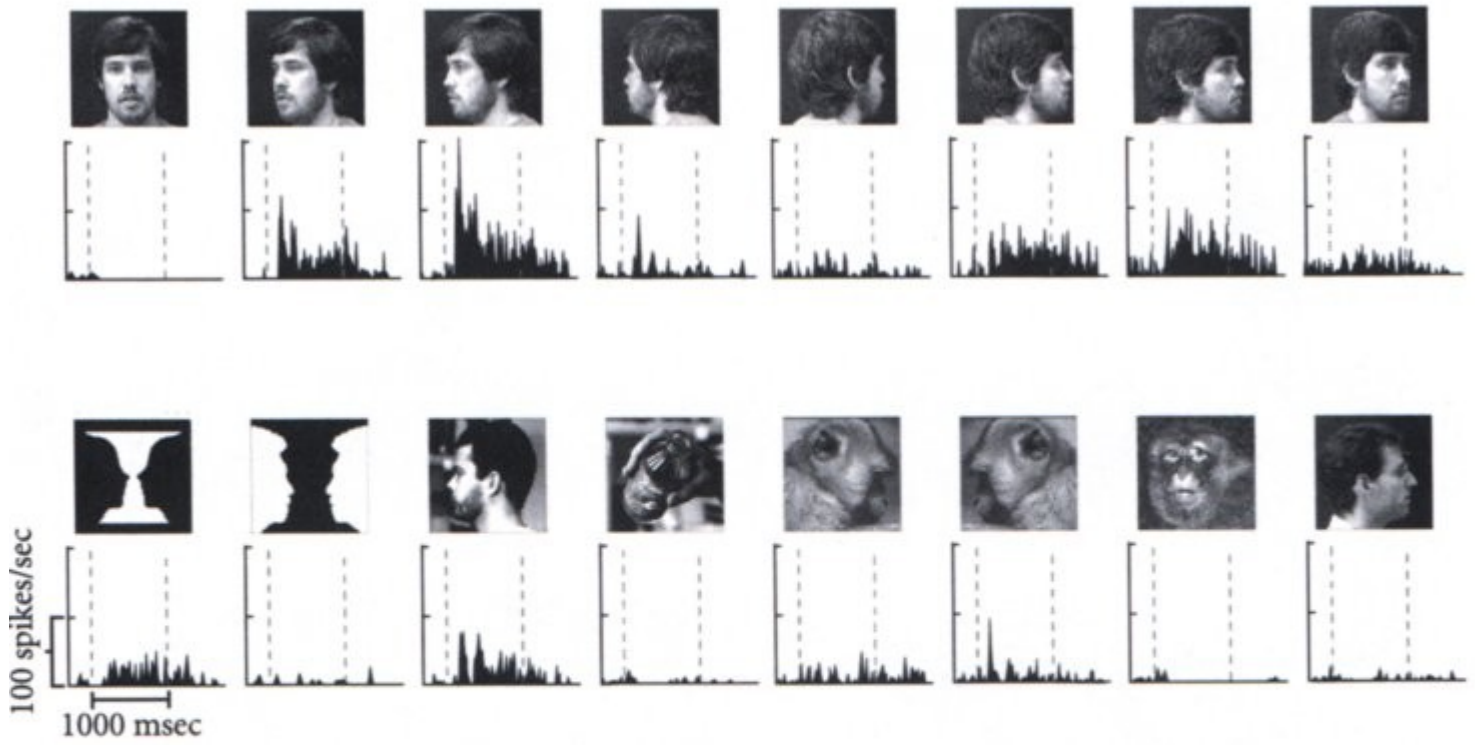
Higher vision areas have more specific feature detectors. This is a paper-clip recognition neuron...



alex@seewald.at
http://www.seewald.at

The Human Visual System (6)

… and this is a bearded-faces-in-profile neuron.



SEEWALD SOLUTIONS

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Algorithmen (1)

Aufbau spezifischer Feature-Detektoren

- für statische & starre Objekte: Scale Invariant Feature Transform (SIFT)
- für dynamische & elastische Objekte: Boosted Decision Trees of Haar-like Features (BDTHL)
- für beide Arten von Objekten: Convolutional Neural Networks (convNN)

SEEWALD SOLUTIONS
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Algorithmen (2)

Übliche Anwendungen

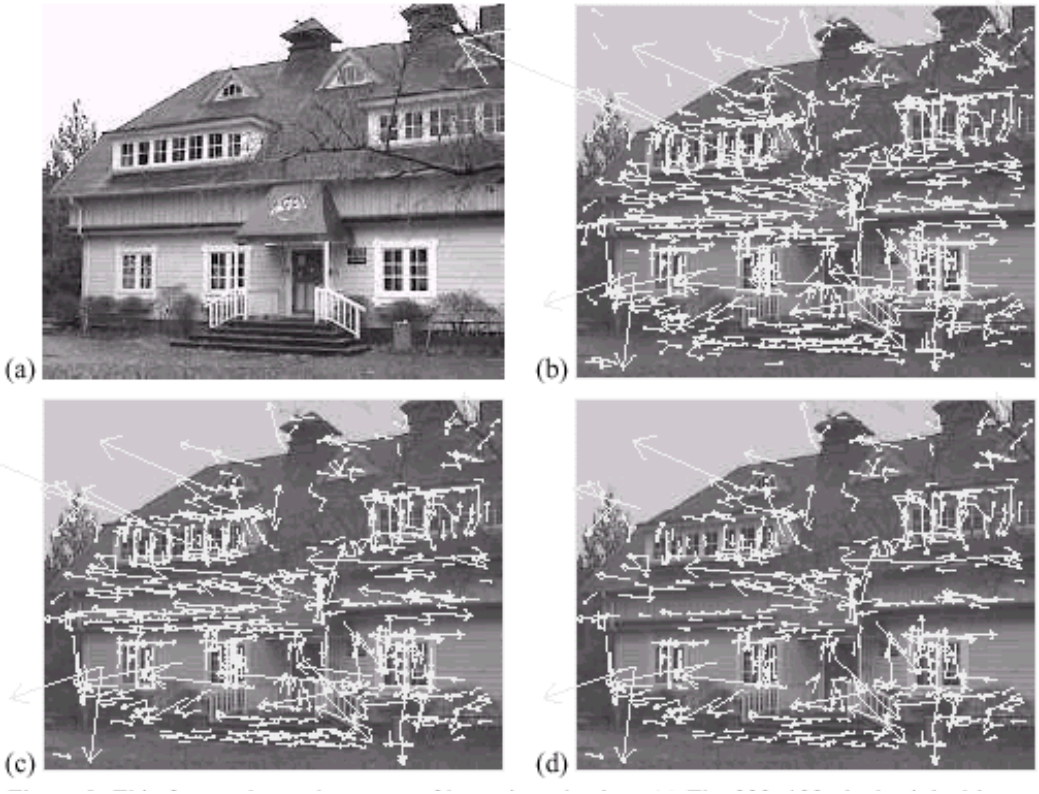
- SIFT: allgemeine Objekterkennung unabhängig von Position, Größe & Lage; Matching von ganzen Bildern; nur für starre Objekte geeignet (Gebäude, Statuen)
- BDTHL: Gesichts-, Fußgänger-, Auto-Erkennung
- convNN: OCR; Erkennung handgeschriebener Ziffern; allgemeine Objekterkennung unabhängig von Position, Größe & Lage

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Scale Invariant Feature Transform (1)

[Lowe, 1999] & [Lowe, 2004]

- Scale-space extrema detection via difference-of-gaussian. Keypoint localization by local quadratic interpolation

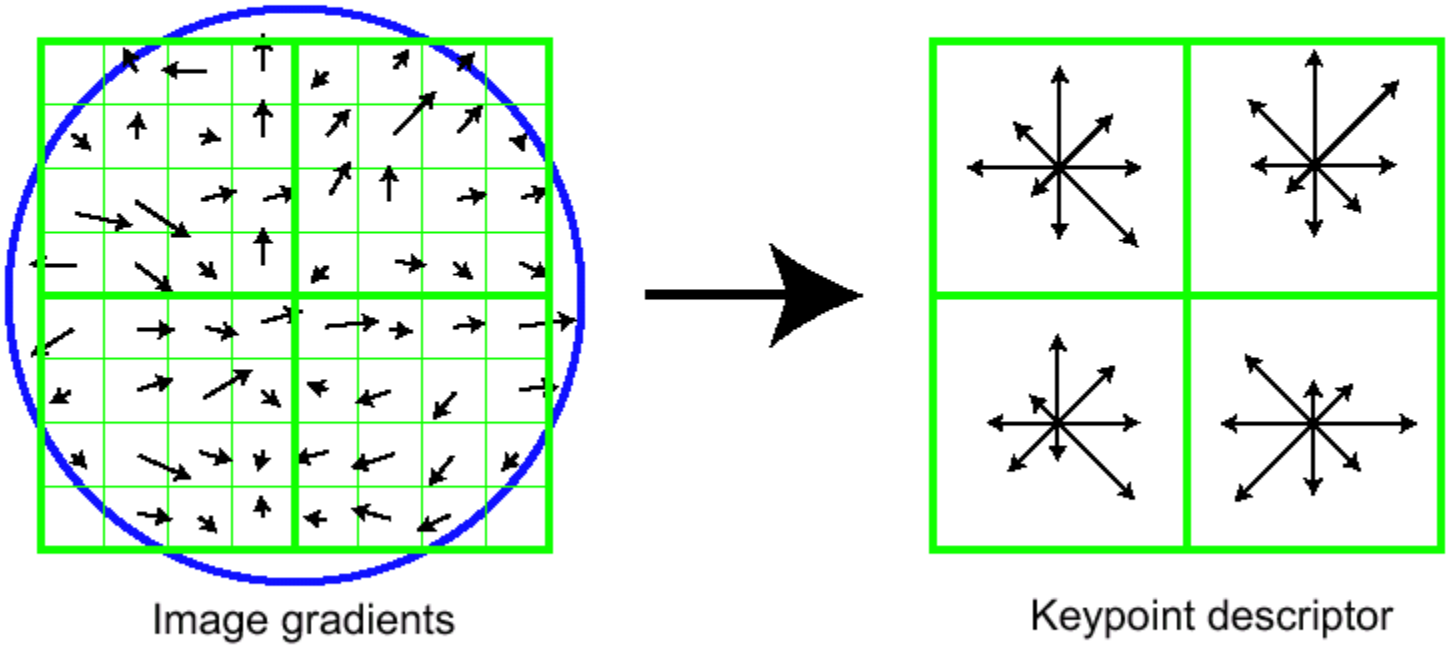


alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Scale Invariant Feature Transform (2)

- Orientation assignment via direction histogram peaks. Obtain Keypoint descriptors by sampling & trilinear interpolation

Image keypoints with 128-dimensional descriptors

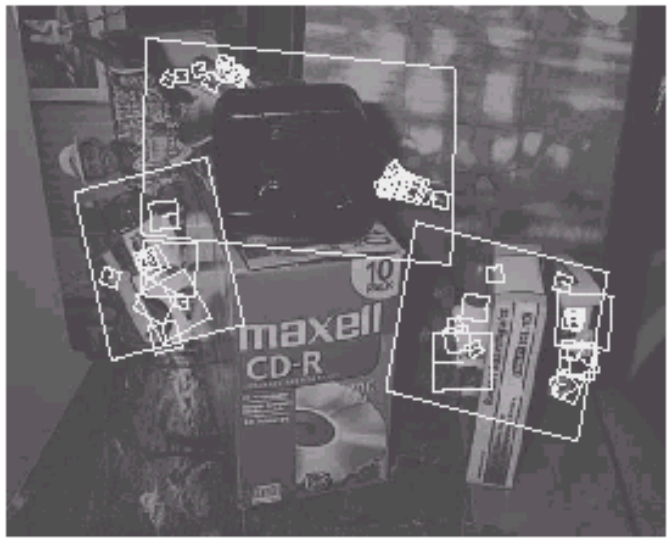


alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Scale Invariant Feature Transform (3)

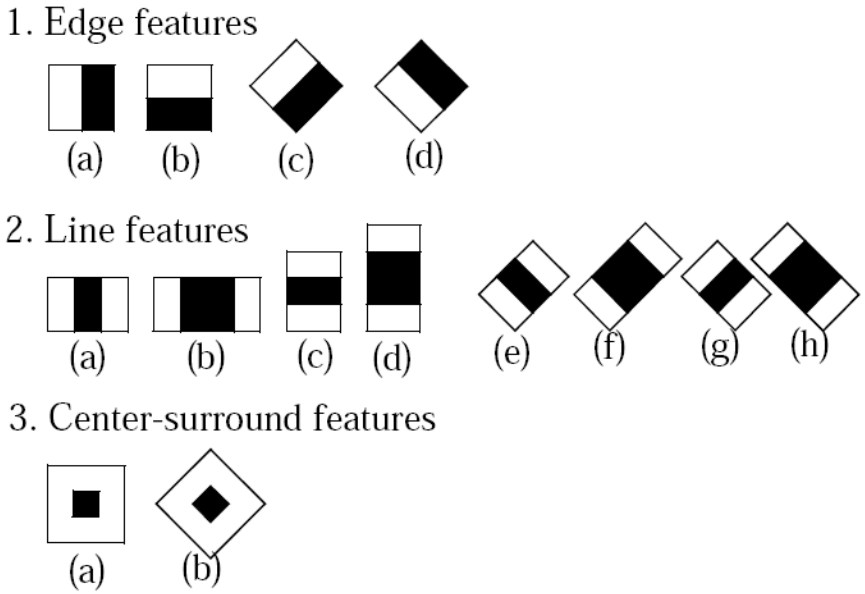
Matching keypoints with an image database

- Nearest neighbors & euclidean distance
- Best-Bin-First: fast approx. of nearest-neighbor
- Least-squares solution of pose to determine final affine transform of the object for accurate localization



alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Boosted DTs of Haar-like Features (1)



Vom menschlichen Sehsystem abgeleitet

- Hell/Dunkel-Unterschiede (Kontrast)
- Berechnet in allen möglichen Größen über einem Fenster fixer Größe (zB 24x24, 40x40 Pixel)
- 117,941(!) Features bei 24x24 Pixel-Fenster

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Boosted DTs of Haar-like Features (2)

Trainieren

- Positive und negative Bilder (>1000 pro Klasse)
- Berechnung aller Features für alle möglichen Unterfenster im Bild
- Lernen von Decision Trees / Stumps
- Boosting zur Reduktion der Fehlerrate
- Lernzeit ca. 1-4 Wochen je nach Settings

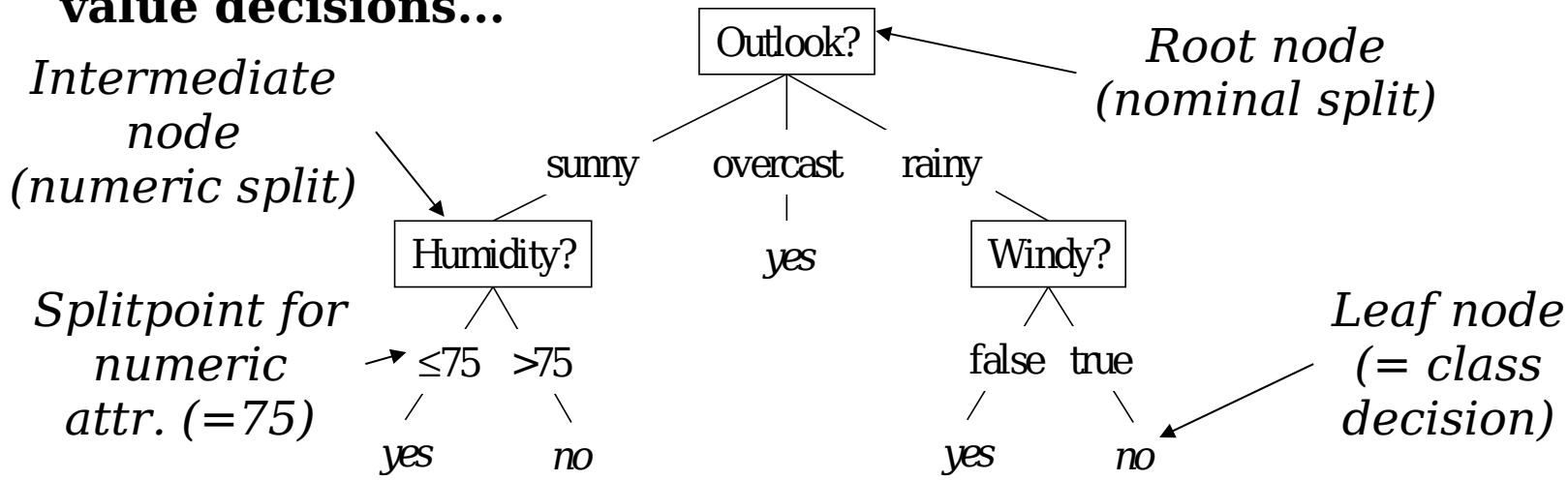
Testen

- Nur die Features, die im Decision Tree vorkommen, müssen tatsächlich berechnet werden – dadurch schnell genug für Echtzeit!
- Boosting führt trotzdem zu einem guten Modell

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Boosted DTs of Haar-like Features (3)

Decision Tree: A recursive structure of attribute/class value decisions...



...which is equivalent to a set of rules, one for each path from the root node:

outlook=sunny & humidity≤75 ⇒ *yes,* outlook=sunny & humidity>75 ⇒ *no,* outlook=overcast ⇒ *yes,* outlook=rainy & windy=false ⇒ *yes,* outlook=rainy & windy=true ⇒ *no*

Decision Stump: Decision Tree with only one level.

SEEWALD SOLUTIONS
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Boosted DTs of Haar-like Features (4)

AdaBoost.M1:

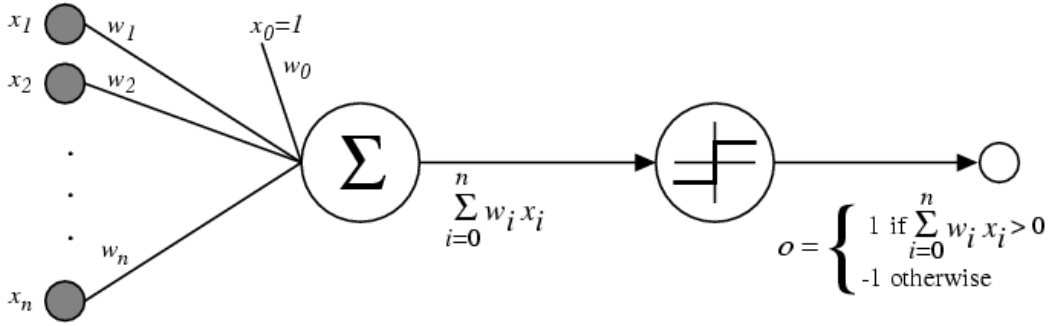
- Apply the same learner sequentially to reweighted training sets, given more weight to examples which have been misclassified previously.
- Final classification is a weighted vote of the component learners.
- Improves dramatically on the performance of even weak base learners; reduces both bias *and* variance of base learners.

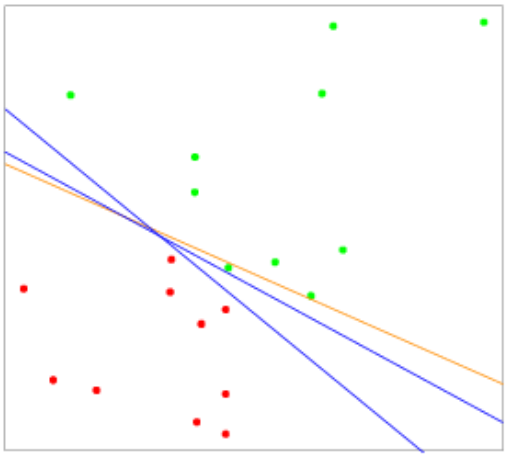
[Breiman,96]: AdaBoost + C4.5 = best off-the-shelf classifier

1. Initialize the example weights $w_i = 1/N$ for i=1,2,..,N
2. For m=1 to M:
   (a) Fit a classifier $f_m(\boldsymbol{x})$ to training data weighted with w_i
   (b) Compute weighted error $Err_m = \Sigma w_i \, I(y_i \neq \text{sign}(f_m(\boldsymbol{x}_i)))/\Sigma w_i$
   (c) Compute $a_m = \log((1- Err_m)/Err_m)$
   (d) Set new w_i to $w_i \, (\exp(a_m(I(y_i \neq \text{sign}(f_m(\boldsymbol{x}_i))))), \, i=1,2,..,N$
3. Output final $f(\boldsymbol{x}) = \Sigma a_m f_m(\boldsymbol{x})$

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Convolutional Neural Networks (1)



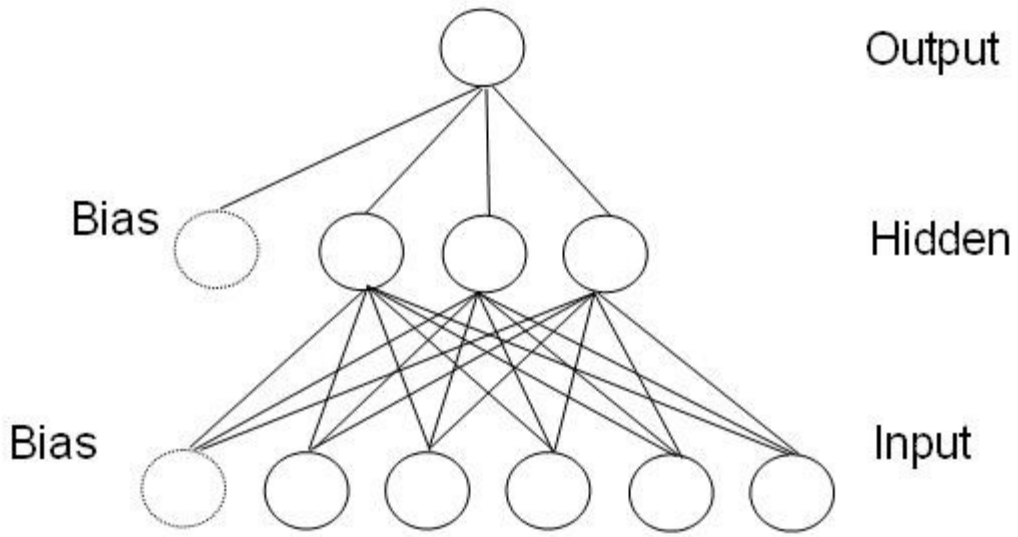


Perceptron (linear binary threshold unit)

- Computes a linear function of **x** (assume adding an $x_0=1$ to **x**, so that constant term w_0 can be handled). $f(\mathbf{x}) = \text{sign}(\mathbf{x}^T.\mathbf{w})$. **w** is initialized randomly.
- *Perceptron training rule*: $\mathbf{w} \leftarrow \mathbf{w}+\eta(y-f(\mathbf{x})).\mathbf{x}^T$, where y is the true output value from training data (±1), and η is the learning rate.
- Concept boundary is a hyperplane which separates classes +1 & -1.

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Convolutional Neural Networks (2)

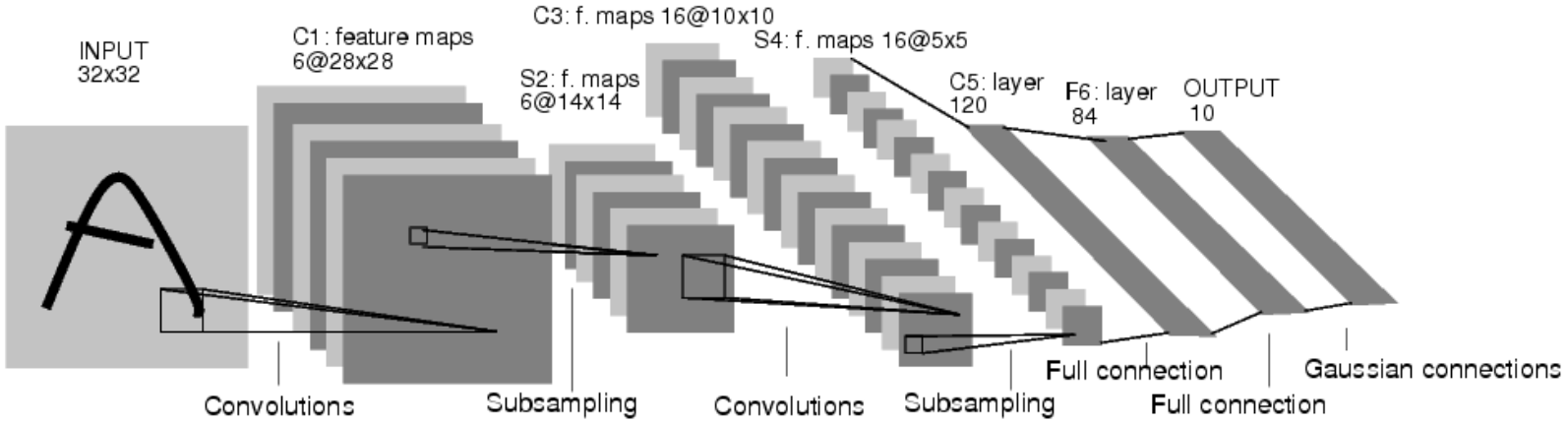


Multi-Layer Perceptron

- Kombination vieler Perceptrons
- Lernen (=Gewichte optimieren) mit Backpropagation
- Explizite Bias-Knoten mit konstantem Outputwert
- Kann auch nichtlineare Konzepte (wie XOR) lernen

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Convolutional Neural Networks (3)



Convolutional Neural Network

- Subsampling: Mittelwert von benachbarten Pixeln
- Convolution: Inputs = benachbarte Pixels, Gewichte für alle Knoten gleich (weight sharing)
- Lernen mit adaptierter Backpropagation
- Sehr instabiler Lernalgorithmus, Performance hängt stark von Netzwerkstruktur ab
- Kaum Open Source Code fürs Training verfügbar

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Frameworks (1)

OpenCV

- hochoptimierte, echtzeit-taugliche Basisoperationen für Computer Vision (C++ Code)
- Framegrabber für Kameras
- Implementation durchwegs schneller als Intel IPP, besonders bei multi-thread programming
- Auch für AMD Prozessoren geeignet
- Brauchbares Lernsystem für BDTHF (V1.1.0 verwenden - V2.0 noch sehr buggy...)
- Apropos: Etliche lästige Bugs! (ellipse fitting, SVD)

SEEWALD SOLUTIONS
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Frameworks (2)

ImageJ

- Optimierte Java-Implementierung von Basis- und erweiterten Computer Vision Operatoren
- Implementation typischerweise langsamer als OpenCV, dafür praktisch keine Bugs.
- Größere Auswahl von CV-Algorithmen.
- Für Nicht-Echtzeit-Prototypen gut geeignet
- Gut geeignet zur Integration mit WEKA

SEEWALD SOLUTIONS
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Frameworks (3)

Waikato **E**nvironment for **K**nowledge **A**nalysis

Die weitverbreiteste Data Mining Suite, für Anwendung, Lehre und Forschung

http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka

- Stabilität, Verfügbarkeit und Qualität der Lernalgorithmen noch immer weit jenseits von kommerziell verfügbaren Tools.
- 1000+ Contributers seit 1999, GPL, vielfach ausgezeichnet (InfoWorld 2007)
- Benannt nach einem neugierigen flügellosen Vogel, der in Neuseeland heimisch ist und unter Naturschutz steht

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Demos (1)

OpenCV Facedetection

Google Googles

SEEWALD SOLUTIONS
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Demos (2)

OpenCV Facedetection

- Genauigkeit (Precision) relativ gut
- viele False Positives bei komplexen Hintergründen

Google Goggles

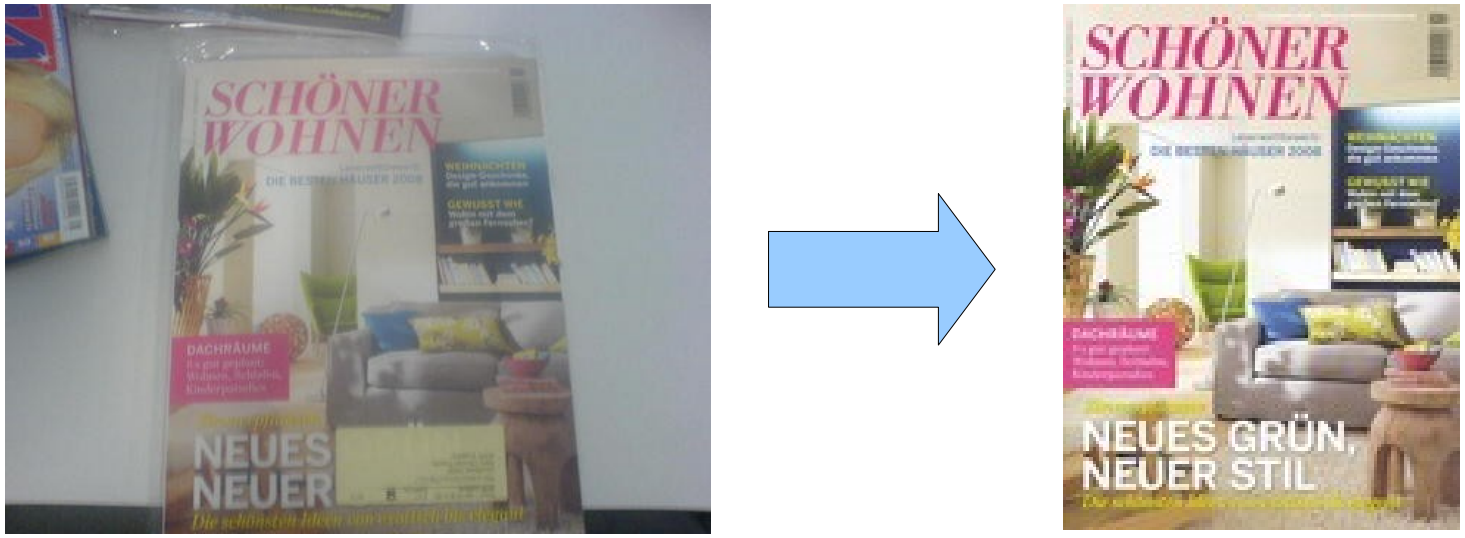
- hauptsächlich SIFT (Buch-Covers, Sehens-würdigkeiten, allgemeine Objekte, ...)
- OCR als Fallback-Option, dann Google-Suche
- integrierter Barcode-Leser eher trivial

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Magazinseiten-Erkennung

Problem: Erkennung von Magazin-Titel und Innenseiten via Handy- und Knopfkameras für Marktforschungszwecke

Lösung: Automatische Zuordnung via SIFT auf Basis von Referenzbildern der Magazinseiten als PDF



alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Erkennung von Go-Spielpositionen

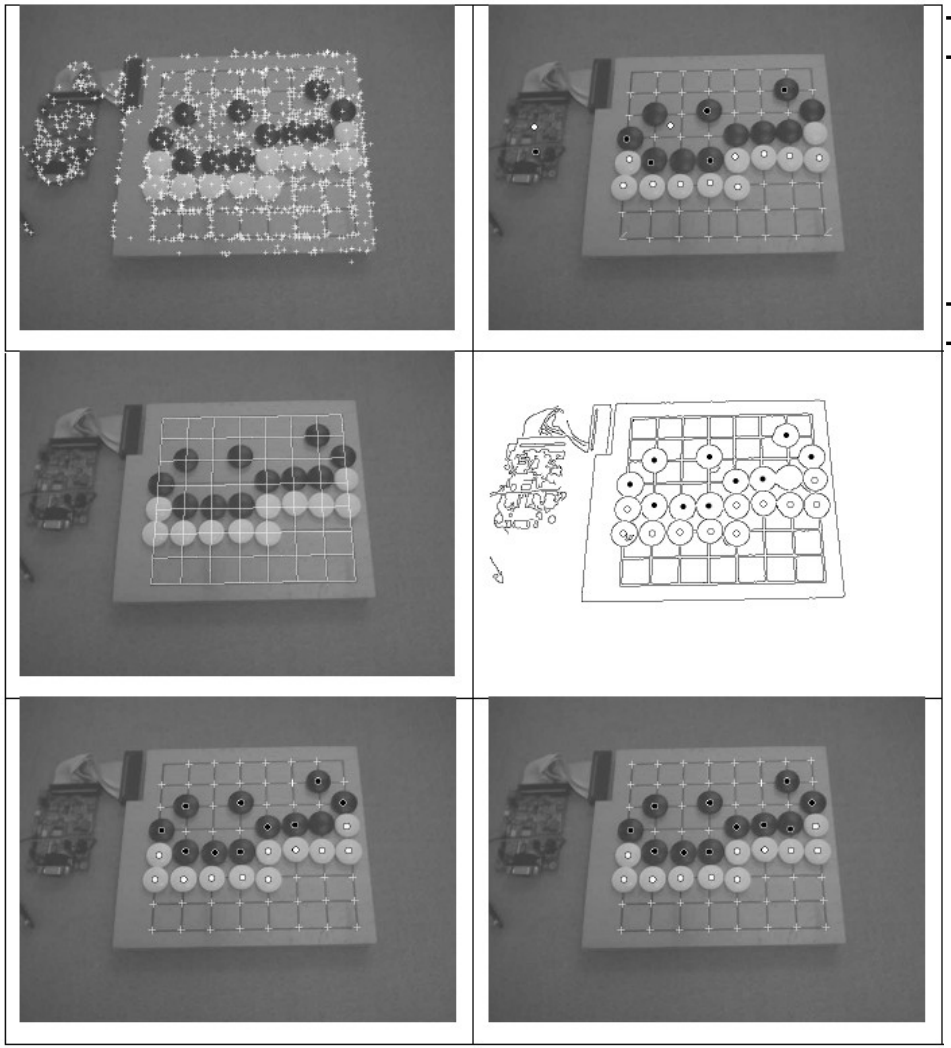


Figure 1: Steps 1-6 with sample images after each step, left-to-right, top-to-bottom.

Problem: Go-Spieler haben keine Zeit, die eigenen Spiele mitzuschreiben.

Lösung: Automatische laufende Erkennung der Spielposition über Handy-Bilder.

- Pro Einzelbild 98.4% genau. 4/6 Schritte verwenden WEKA & ImageJ [Seewald, 2010]

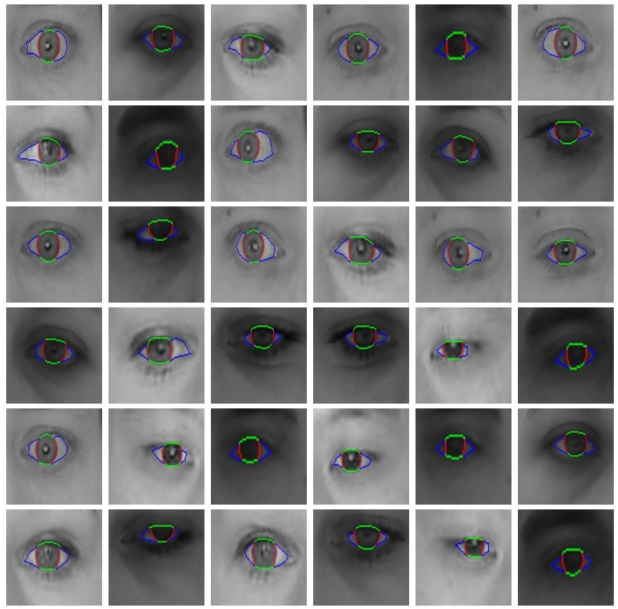
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Low-cost Eyetracking (1)

- **Problem:** Existierende Hardware-Eyetracking-Systeme sind zu teuer für große Marketing-Studien.
- **Lösung:** Low-cost Eyetracker auf der Basis von handelsüblichen USB-Kameras (Softwarelösung)

<u>Vorteile</u>

- Hardwarekosten ca. 60 EUR pro Eyetracking-Arbeitsplatz – ~100 Arbeitsplätze zum Preis eines existierenden Systems!
- Verwendung des eigenen PCs
- Studienteilnehmer arbeiten in gewohnter Umgebung
- Auch für integrierte Notebookkameras/Handycams



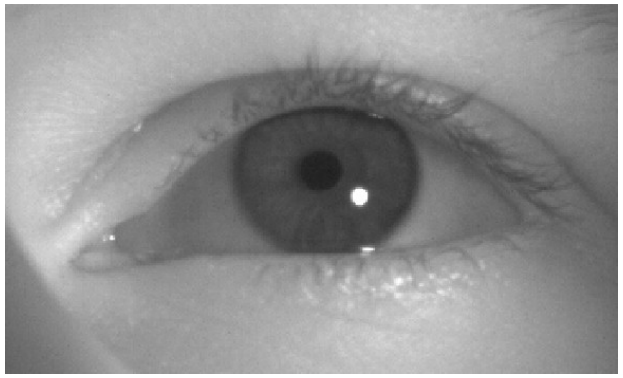
SEEWALD SOLUTIONS

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Low-cost Eyetracking (2)

Klassisches Eyetracking

- Projektion von mehreren IR-Reflektionen ins Auge (glints)
- Filterung des Kamerabildes nach Infrarot-Wellenlänge
- Sichtwinkel aus glint-Position „leicht“ berechenbar.



Low-cost Eyetracking

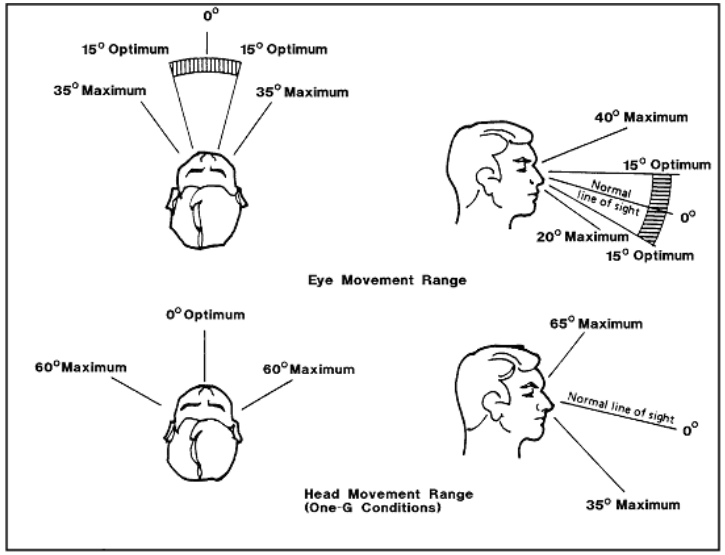
- Gesichtserkennung und Finden der Augen im Gesicht
- Direkte Erkennung von Iris Pupille typischerw. verdeckt
- Kopfposition/-winkel muß aufwendig kompensiert werden

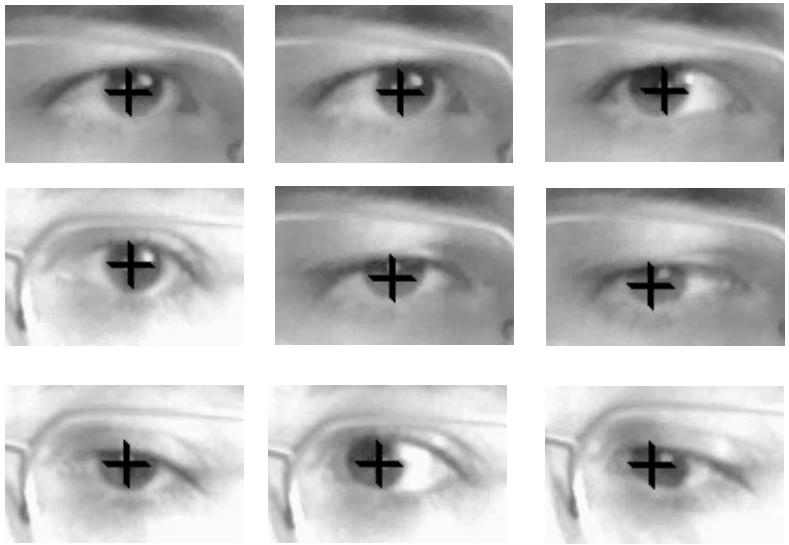
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Low-cost Eyetracking (3)

Vorgehensweise

- OpenCV: Echtzeitverarbeitung&Gesichtserkennung
- Training Augenerkennung: pixelbasierte Features mit WEKA trainiert (Sclera, Iris/Pupille, Haut) und endgültiges Modell nach C konvertiert (toSource())





SEEWALD SOLUTIONS

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Low-cost Eyetracking (4)

Video

SEEWALD SOLUTIONS
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

deFlicker (1)

- **Problem:** Existierende Hochgeschwindigkeits-kameras zeigen ein deutliches Flackern bei Nachtaufnahmen aufgrund v.Stadion-Scheinwerfern
- **Lösung:** Softwaremäßige Korrektur des Flackerns in Echtzeit für HDTV Video.

LIVE · SLOW · MOTION

<u>Hintergrund</u>

- Weit verbreitete Stadion-Scheinwerfer flackern (~130Hz)
- Nachtaufnahmen mit Hoch-geschwindigkeitskameras(>150 fps) flackern deshalb sehr stark.
- Auch LED-Werbebanner können flackern,wenn Stromversorgung nicht gut genug abgeschirmt.

SEEWALD SOLUTIONS

alex@seewald.at
http://www.seewald.at

deFlicker (2)

Entwicklung eines Prototypen

- Entfernung des Flackerns in Echtzeit für HDTV Input/Output Video (720p / 50-60Hz, 1080i / 50Hz)
- Leistungsfähiger Rechner notwendig (~8 Kerne)
- Bis jetzt eingesetzt bei UEFA Testspielen, Olympia 2010 (Vancouver) und zahlreichen kleineren Events.
- Kürzlich ausgestellt bei NAB Show 2010 (Las Vegas)

- OpenCV: Echtzeitverarbeitung
- Dedizierte Karte für HDTV input/output via DMA
- Linux pthread library & Semaphores
- Läuft auf 64bit Linux

SEEWALD SOLUTIONS
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

deFlicker (3)

Video

SEEWALD SOLUTIONS
alex@seewald.at
http://www.seewald.at

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Für Fragen stehe ich jederzeit gerne zu Ihrer Verfügung.

SEEWALD SOLUTIONS

alex@seewald.at
http://www.seewald.at