

# Schnelle pixelparallele Bildverarbeitung mit Zellularen Neuronalen Netzwerken (CNN) zur Regelung von Laserschweißprozessen

D. Carl\*, A. Blug\*, P. Strohm\*, H. Höfler\*, F. Abt\*\*, M. Geese\*\*\*, R. Tetzlaff\*\*\*

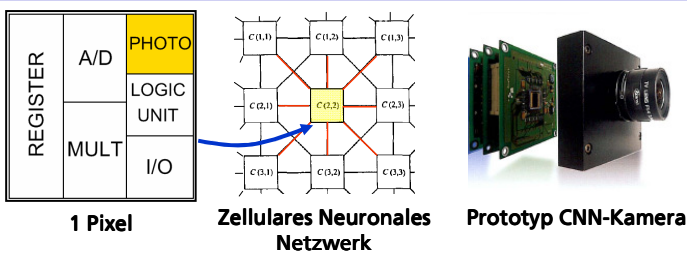
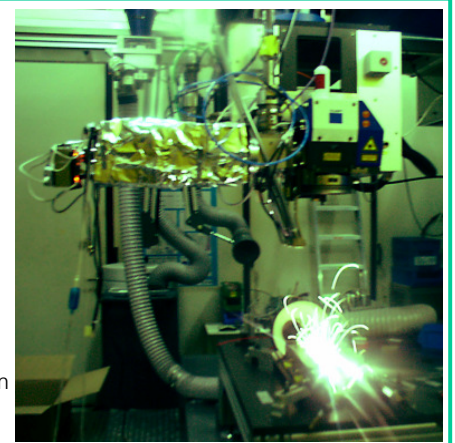
\*Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg; \*\*Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge FGSW, Stuttgart; \*\*\*Institut für Angewandte Physik der Universität Frankfurt am Main

Bei hochdynamischen Prozessen, wie beispielsweise dem Laserstrahlschweißen, treten periodische und zufällige Fehler bzw. Nahtunregelmäßigkeiten auf, die das Prozessergebnis negativ beeinflussen und im schlimmsten Fall sogar unbrauchbar machen. Durch gezieltes Einwirken auf verschiedene Prozessparameter, wie Laserleistung, Vorschubgeschwindigkeit, Fokuslage und ggf. Zusatzwerkstoff können Fehler minimiert werden. Voraussetzung für eine Prozesssteuerung unter Echtzeitbedingungen ist die Bildaufnahme und Auswertung im 10 kHz Bereich.

Unter Zugrundelegung von CNN lassen sich Single-Instruction-Multiple-Data (SIMD)-Rechnerarchitekturen in die Pixel von Kamerachips integrieren. Diese erst seit Ende 2007 kommerziell verfügbare Technologie ermöglicht eine pixelparallele und deshalb extrem schnelle Bildverarbeitung mit Flächenkameras und somit erstmals eine Regelung des Laserschweißprozesses aufgrund von Qualitätsmerkmalen.

Erste Ergebnisse für das Kriterium „Durchschweißen“ zeigen, dass Bilder mit einer Bildrate von 10 kHz ausgewertet und entsprechende Regelsignale erzeugt werden können.

Die Abbildung zeigt einen Bearbeitungskopf des Modells Trumpf PFO-33, der über einen Lichtleiter an einen Yb:YAG Scheibenlaser mit 6 kW optischer Leistung (TruDisk 6002) der Firma Trumpf gekoppelt ist.



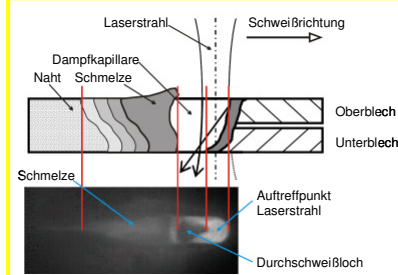
- Jedes Pixel besitzt einen eigenen Analogprozessor (Touring-Rechner, "CNN Universal Machine")
- jedes Pixel ist mit seinen Nachbarn netzartig verbunden
- ein Programm besteht aus einer Folge von Kopplungsparametern, die für alle Zellen gleich sind (SIMD-Architektur)
- Design kompatibel mit 180/350 nm CMOS-Prozessen
- Typische Bildverarbeitungsaufgaben werden sehr schnell und effektiv gelöst: z. B. Kantenfilter, Morphologische Operatoren, Schwellwertfindung, HDR-Imaging (120 dB)
- ca. 1 Tera Operationen / s äquivalente Geschwindigkeit



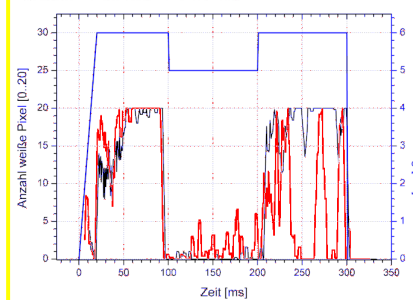
- Konventionelle Architektur**
- Single Instruction Single Data (SISD)
  - ca.  $1,5 \cdot 10^9$  Additionen und Multiplikationen (3x3 Sobel Filter)
  - Verarbeitungsdauer: **einige ms**



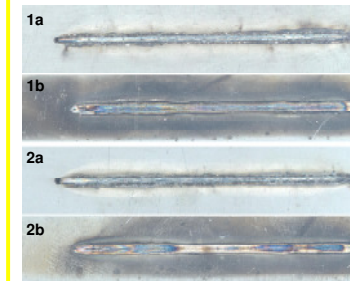
- CNN**
- Single Instruction Multiple Data (SIMD)
  - Erzeugung eines Kantenbildes in einem einzigen Verarbeitungsschritt
  - Verarbeitungsdauer: **ca. 8 µs**



Querschnitt durch einen I-Naht-Überlapp-Schweißprozess mit einem koaxial durch die Bearbeitungsoptik aufgenommenen Bild der Wechselwirkungszone zwischen Laser und Werkstück.



Beim Schweißen der links dargestellten Nahtober- (a) und Nahtuntertrauen (b) wurde die Laserleistung entsprechend dem rechts dargestellten Profil (blaue Kurve) variiert, um eine ungleichmäßige Durchschweißung zu erzeugen. Die durchgeschweißten Bereiche sind an der Schuppung der Naht zu erkennen.



Die rechts aufgetragenen Kurven zeigen das mit einer Rate von 1,6 kHz generierte Regelsignal der CNN-Kamera (ACE16k, Prototyp) einer „guten“ Durchschweißung (schwarze Kurve, Probe 1) und einer unregelmäßigen Durchschweißung (rote Kurve, Probe 2).

Die hier präsentierten Ergebnisse zeigen exemplarisch für ein einziges – recht gut bekanntes – Qualitätsmerkmal (Durchschweißen eines Werkstückes) die prinzipielle Eignung von optischen CNN zur Online Qualitätskontrolle des Laserstrahlschweißprozesses. Dabei wurde mit dem älteren CNN-Kamera Prototyp (ACE16k) aufgrund geringer Lichtempfindlichkeit eine Verarbeitungsrate von 1,6 kHz erzielt (Begrenzung durch Rechenleistung: 9,5 kHz). Die seit Ende 2007 kommerziell verfügbare Weiterentwicklung (Q-Eye/EyeRIS 1.2-System) zeichnet sich durch deutlich höhere Lichtempfindlichkeit und noch kürzere Rechenzeiten aus. An der Adaption dieses Systems zur Regelung von Schweißprozessen wird gerade gearbeitet – erste Ergebnisse sind in Kürze zu erwarten. Durch eine Erhöhung der Bildrate können weitere (und schnellere) Vorgänge – beispielsweise Schmelzspritzer oder Bewegungen der Schmelze – robuster erfasst und bewertet werden.

Die hier dargestellten Arbeiten wurden für das Projekt „Analoge Bildverarbeitung mit Zellularen Neuronalen Netzen (CNN) zur Regelung laserbasierter Schweißprozesse (ACES)“ durchgeführt. Das Forschungsvorhaben wird von der Landesstiftung Baden-Württemberg im Rahmen der Ausschreibung „Forschung Optische Technologien 2005/2006“ finanziert.