

Bildbasierte Echtzeitregelung von hochdynamischen Prozessen mit Zellularen Neuronalen Netzwerken (CNN)

Peter Strohm*, Andreas Blug*, Daniel Carl*, Heinrich Höfler*, Felix Abt**

*Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik, Freiburg

**Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge FGSW, Stuttgart

<mailto:peter.strohm@ipm.fraunhofer.de>

In aktuellen Messaufbauten für Lasermaterialbearbeitung wie Laserschweißen, Laserschneiden oder Laserablation werden koaxiale Kameraaufbauten zur Überwachung der Prozessqualität verwendet. Dieser Artikel stellt ein Sensor-System für den nächsten Schritt der Bildverarbeitung vor: Die Echtzeitregelung von hochdynamischen Prozessen mittels bildbasierter Qualitätsmerkmale.

1 Einführung Zellulare Neuronale Netzwerke

Zellulare Neuronale Netzwerke (CNN) wurden erstmals 1988 von Chua und Yang als Kombination von neuronalen Netzen und zellularen Automaten vorgestellt. Seit 2007 sind CNN-basierte Kamerasysteme auch kommerziell verfügbar. Sie integrieren Speicher- und Rechenelemente direkt in jeden einzelnen Kamerapixel.

CNN-Kameras sind quasi „Computer in a pixel“ und bieten noch weitere Vorteile:

Verbunden in Zeit und Raum (Abb.1):

Jedes Pixel ist mit seinen direkten Nachbarn verknüpft (3x3-Matrix).

Jedes Pixel ist mit bis zu 7 Vorgängern verknüpft.

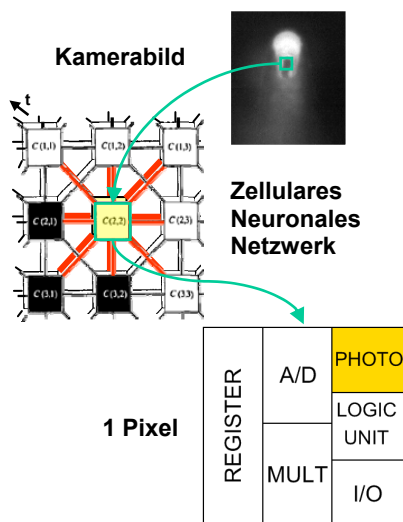


Abb.1: Darstellung des CNN-Zellen-Prinzips.

Pixel-parallele Bildverarbeitung (Abb.2):

Single Instruction Multiple Data-Architektur (SIMD).

Eine Operation auf allen Pixeln des Bildes in einem einzigen Prozessorschritt.



$$A_{Laplace} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$



1 Arbeitsschritt,
Laufzeit < 8 µs
(CNN, parallel)

vs.

10⁶ Arbeitsschritte,
Laufzeit > 1 ms
(PC, seriell)



Abb.2: Geschwindigkeitsvorteil CNN gegenüber PC bei typischer Bildverarbeitungsoperation.

Optimale Architektur für Bildverarbeitung

Nachbarschaftsoperationen auf alle Pixel parallel (Abb.2).

Gewichtete Matrixoperationen (3x3-Matrix)

Lokale und globale BV-Operationen.

Schwellwertoperationen.

Logische Operationen.

Kantendetektion.

Mathematische Operatoren.

2 Anwendungsgebiete

Regelung, Überwachung und Steuerung von hochdynamischen Prozessen mit bis zu 20 kHz.

Anwendungen in Laserschweiß- und Laserablationsprozessen mit Regelraten bis zu 14 kHz.

Regel-Algorithmen basieren auf Extraktion von Bildmerkmalen, z. B. Durchschweißloch, vollständige Ablation etc.

3 Forschung

Anpassen der Algorithmik auf andere Gebiete:

z. B.: Oberflächenanalyse, Positionsbestimmung, Beleuchtung für High-Speed-Anwendungen mit LED-Strahlbündelung für Belichtungszeiten um $\sim 10\mu\text{s}$.

Algorithmenbasierte Kamera-Triggerung.

Echtzeit-3-D-Messung mit strukturierter Beleuchtung (Abb.3).

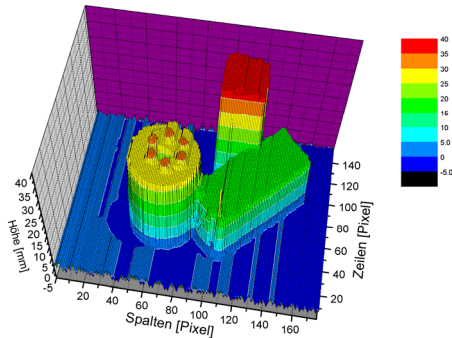


Abb.3: 3D-Messung mit CNN-Sensor System.

4 Laserschweißen

Extrahierung von Bildmerkmalen (hier: Durchschweißloch) in pixelparalleler CNN-Architektur mit speziellen BV-Algorithmen (Abb. 4).

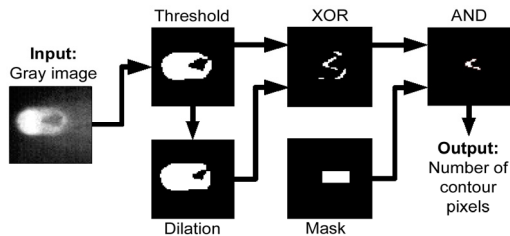


Abb. 4: Abstraktion des CNN-Regel-Algorithmus' mit Anzahl weißer Pixel als Regelgröße.

Vorteil Regelstrategie:

Regelung von linear- und omni-direktionalen Schweißungen (Abb. 5).

Automatische Reduktion der Laserleistung am Ende des Prozesses (Abb. 5).

Regelung bei verschiedenen Geschwindigkeiten (Abb. 5) und variierenden Blechdicken.

Verbesserung der Schweißqualität:

Verminderung von Nahtfehlern, Reduktion der Verschmutzung, Vermeidung von Spritzern.

Je nach Regelstrategie bis zu 10% Reduktion des Energieverbrauchs.

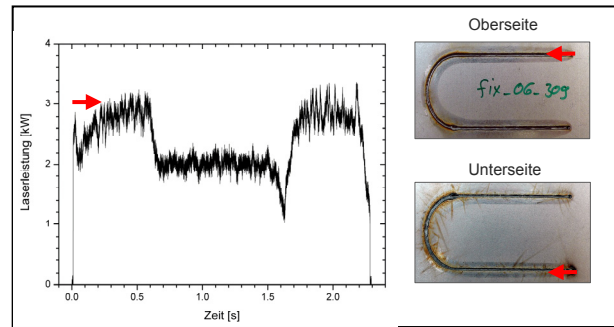


Abb.5: Omni-direktionale Regelung einer Autoklammer-Laserschweißung.

Vorteil Geschwindigkeit:

Bildverarbeitung direkt auf der CNN-Kamera – Regelsignale direkt von der Kamera zur Steuereinheit: Auswertung und Signalgenerierung in $\sim 72\mu\text{s}$ – Regelraten bis zu 14 kHz!

Echtzeitregelung von hochdynamischen Laserschweißprozessen (Abb.6).

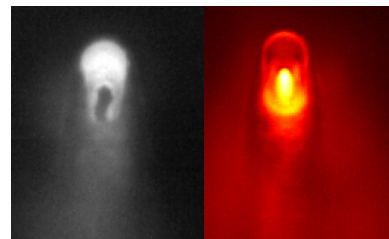


Abb.6: Prozessbild der CNN-Kamera (links), Dynamik des Durchschweißloches (rechts).

5 Industrietaugliches CNN Sensor System

Getrennte Kamera- und Signalverarbeitungseinheit

Optischer Signalaustausch für Sicherheit in industriellen Umgebungen (Abb.7).

Aufzeichnung der Signale am PC für Monitoring.

Bis zu 8 frei konfigurierbare Analog- und Digital-I/O's als Regelsignale.

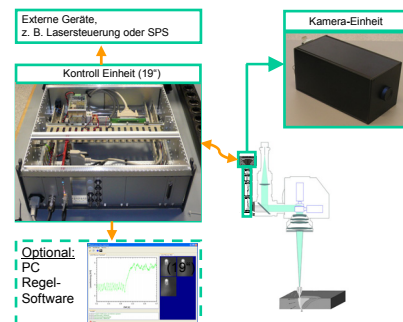


Abb.7: Anpassbares Kontroll-System für Industrie- und Laboranwendung.