Auditory Augmented Reality in Production (AARiP)

Michael Iber, Fachhochschule St. Pölten
mit Patrik Lechner, Christian Jandl, Manuel Mader, Michael Reichmann

FFG Forschung wirkt.

/medien & digitale technologien

/fh/// st.pölten

Terminologie: auditory augmentation

Tünnermann, Bovermann, Hermann: Augmentation at your fingertips 2010

- zusätzliche (künstliche) akustische Ebene zwischen einem Ereignis und der natürlichen (akustischen) Reaktion eines Objektes
- Überlagerung vorhandener Klänge ohne deren hervorstechende wesentliche Eigenschaften zu verändern
- in “peripheral monitoring situations” tendiert die akustische Daten-repräsentation dazu, unterhalb der bewussten Wahrnehmungsschwelle zu liegen
- eine charakterischte Klangveränderung des Audiosignal wird wahrscheinlich die Aufmerksamkeit eines Nutzers auf sich ziehen

Tünnermann, Bovermann, Hermann: Augmentation at your fingertips, 2010

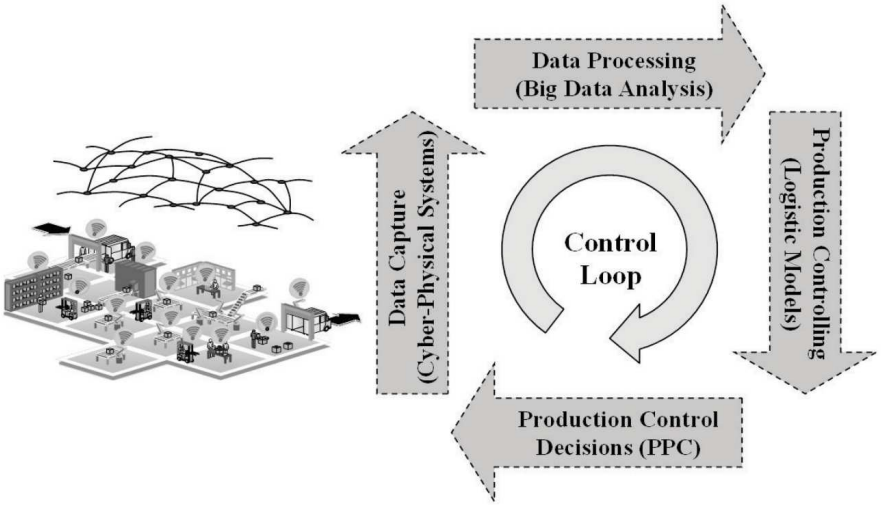
Terminologie: cyber-physical production systems

- … are integrations of computation, networking, and physical processes. Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, with feedback loops where physical processes affect computations and vice versa. …

  https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps/

- Beispiele: autonomous automotive systems, medical monitoring, process control systems …

  Cyber-physical system, n.d., in Wikipedia, retrieved 17.09.2019 from https://en.wikipedia.org/wiki/Cyber-physical_system



Seitz, Kai-Frederic & Nyhuis, Peter. (2015). Cyber-Physical Production Systems Combined with Logistic Models – A Learning Factory Concept for an Improved Production Planning and Control. Procedia CIRP. 32. 10.1016/j.procir.2015.02.220.

Terminologie: cyber-physical production systems

- **unterstützen die Vermittlung von inplizitem und explizitem Wissen, denkbare Implementierungen:**
  - “Assistierter Bediener” (Unterstützung durch Augmented Reality Inhalte im Produktionsprozess)
  - “Produktions-Wissensmanagement” (Bereitstellung handlungs- und entscheidungsrelevanter Informationen)
  - “Selbstlernende Arbeitssysteme” (Unterstützung durch intelligente Datenverknüpfung)
  - “Mobiles Lernen in der Produktion” (Lernen zur richtigen Zeit am richtigen Ort)

A. Stocker, P. Brandl, R. Michalczuk, and M. Rosenberger, “Mensch-zentrierte IKT-Lösungen in einer Smart Factory,” Elektrotechnik Informationstechnik, vol. 131, no. 7, pp. 207–211, Oct. 2014.

Terminologie: cyber-physical production systems

ABER:

- die meisten Konzepte basieren auf Visualisierungen ohne die Möglichkeiten der auditiven Wahrnehmung zu berücksichtigen

Terminologie: acoustic (emission-based) condition / process monitoring

[http://www.sdt.eu]

http://eng.makeyev.ru/netcat_files/158/284/Risunok6.jpg

Idee: Auditory Augmented Reality in Production (AARiP)

im Hinblick auf das Potential

- klanglich gestützter cyber-physical production systems
- von acoustic condition monitoring unterstützt durch machine learning
- akustischer Rückmeldungen im Zusammenhang mit der Entwicklung von “working knowledge” (auch: intrinsic knowledge, tacit knowledge)

Idee: „intelligenter“ Lärmschutzkopfhörer für Produktionsumgebungen (z.B. Werkstättenfertigung)

Hintergrundüberlegung:

- Lärmpegel über 85dB SPL (z.B. in Österreich) erfordern Lärmschutzmaßnahmen, wie z.B. das Tragen von Lärmschutzkopfhörern
- das Tragen eines “intelligenter” Lärmschutzkopfhö bedeutet daher keine zusätzliche Einschränkung
- daher erwarten wir eine hohe Akzeptanz

3 M Peltor WS 100 Communications Headset mt16h21fws5um580.

Idee: „intelligenter“ Lärmschutzkopfhörer für Produktionsumgebungen (z.B. Werkstättenfertigung)

nach unseren Beobachtungen bereits jetzt - auch in leiseren Arbeitsumgebungen - verwendet:

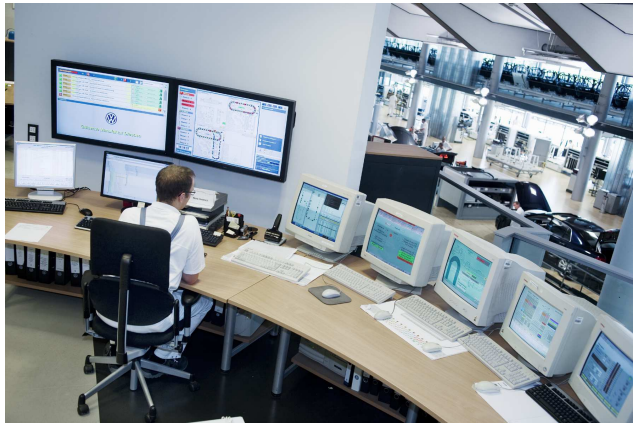
- FM/AM radio
- music player

Rechargeable Ear Defenders with Bluetooth, FM/AM Digital Radio and Built-in Microphone, Protear Ear Protector with Hands-Free Calling, Wireless Headphones for Working and Industrial, SNR 30dB

3 M Peltor WS 100 Communications Headset
mt16h21fws5um580.

Idee: „intelligenter“ Lärmschutzkopfhörer für Produktionsumgebungen (z.B. Werkstättenfertigung)

Industriepartner auch interessiert an adaptierten Konzepten für Leitstände und Fernüberwachung:



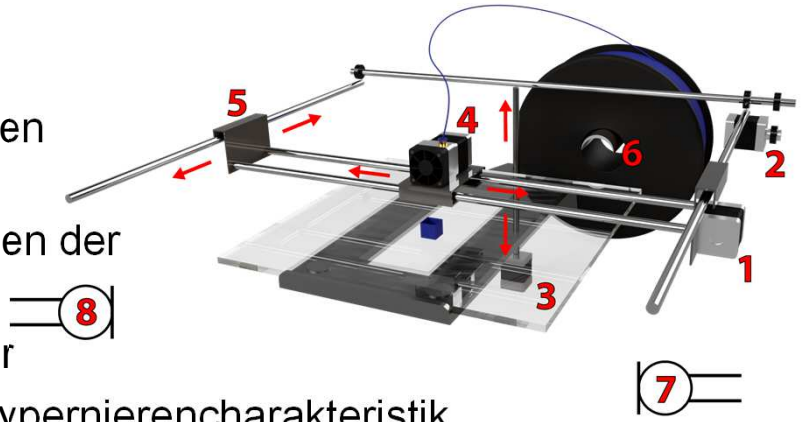
http://www.turmpresse.de/tbb/pm/pm_1035_VW.htm

3 M Peltor WS 100 Communications Headset mt16h21fws5um580.

acoustic condition / process monitoring → machine learning → auditory feedback

Mikrofonierung:

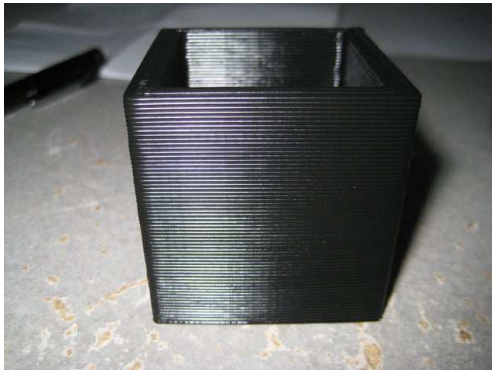
- 1–4: Körperschallmikrofone an Schrittmotoren (x-, y-, z-Achsen, Düse)
- 5: Körperschallmikrofon an Führungsschienen der x- und y-Achse
- 6: Körperschallmikrofon am Materialspender
- 7&8: Kleinmembranmikrofone (DPAs) mit Hypernierencharakteristik am Rahmen



acoustic condition / process monitoring → machine learning → auditory feedback

3D Druck eines Würfels:

- 3 x unter Normalbedingungen
- 3 x mit implizierten Fehlern:
  - Entfernung des Schmiermittels auf der x-Achse
  - Lockern der Schrauben der Spritzdüse
  - Reduktion der Spannung des Zahnriemens



https://www.thingiverse.com/thing:187707

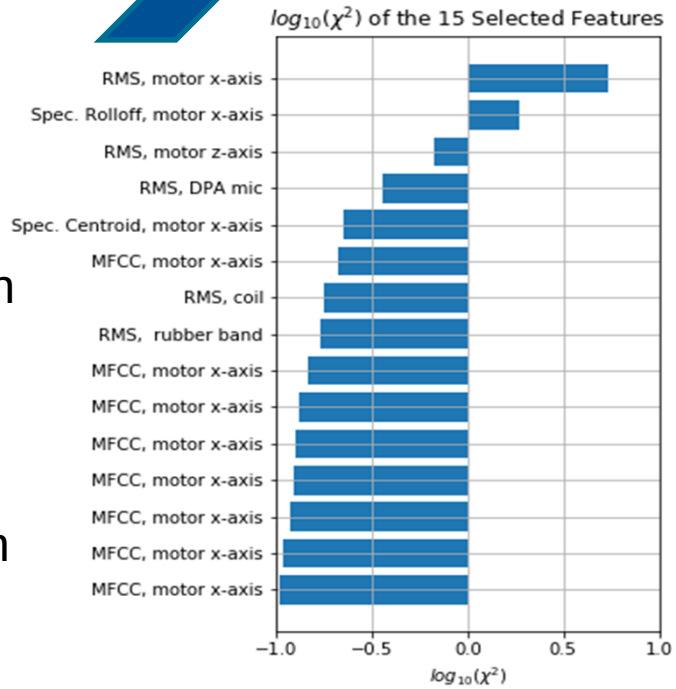
kein wahrnehmbarer akustischer Unterschied zwischen normalen und fehlerhaften Vorgängen

acoustic condition / process monitoring → **machine learning** → auditory feedback

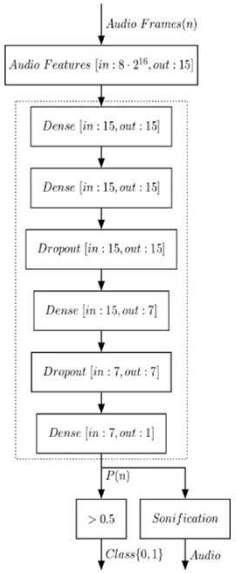
- **2-stufiger Analyseprozess, erstens:**
  - feature extraction und feature selection: Ermittlung einer geeigenten Methode zur Analyse von Druckprozesszuständen (error condition vs. normal operation)
  - Anhaltspunkte, **wo** (in den 8 Audiospuren) **welche** Information **wie** enthalten ist
  - Ziel einer möglichst geringen Datendimensionalität, um die Komplexität der Sonifikation möglichst einfach zu halten

acoustic condition / process monitoring → **machine learning** → auditory feedback

- **Ergebnis:**
  - Tabelle mit 18,760 gelabelten Analysefenstern, mit Informationen über 64 audio features (8 Mikrofonaufnahmen × 8 audio features)
  - 15 meist relevante Features bilden Input für Netzwerkmodell



acoustic condition / process monitoring → **machine learning** → auditory feedback



- **2-stufiger Analyseprozess, zweitens:**
  - Analyse mit Neuronalem Netzwerk

true negatives	false positives	false negatives	true positives
482	34	35	505

$$accuracy = \frac{TN+TP}{TN+FP+FN+TP} = 0.93$$

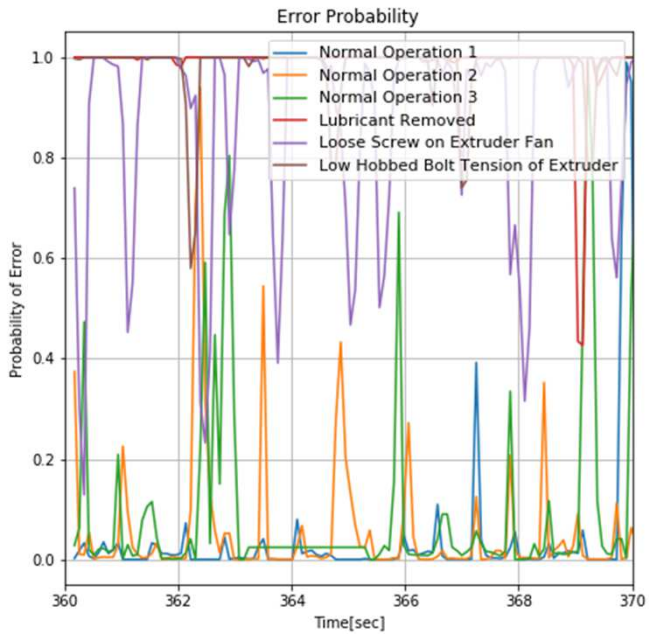
acoustic condition / process monitoring → **machine learning** → auditory feedback

Ergebnisse der Datenanalyse legen 3 Sonifikationsansätze nahe:

1. relevante Featuredaten werden direkt in ein Sonifikationsmodell übertragen
2. relevante Featuredaten modifizieren in Echtzeit als Steuerdaten die originalen Maschinengeräusche
3. **die ermittelte Fehlerwahrscheinlichkeit (Wert zwischen 0. und 1.) wird ohne vorangehende Klassifikation zur eindimensionalen und kontiniuerlichen Steuerung eines Sonifkationsmodells genutzt**

acoustic condition / process monitoring → **machine learning** → auditory feedback

- Schätzung der Fehlerwahrscheinlichkeit $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{n})$ im zeitlichen Verlauf (Ausschnitt von 10 Sekunden)



acoustic condition / process monitoring → machine learning → **auditory feedback**

Sonifikationsmodell muss 5 Rahmenbedingungen erfüllen:

1. Feature-Analyse, Klassifikation und Sonifikation in quasi Echtzeit (< 300ms)
2. kontinuierliche Sonifikation

- fehlerfreie Prozesseabläufe akustisch wahrnehmbar als Bestätigung des regulären Verhaltens
- darf akustisch nicht als störend wahrgenommen werden

3. erhöhte Fehlerwahrscheinlichkeit

- klar wahrnehmbar
- frei von typischer Alarmwirkung

acoustic condition / process monitoring → machine learning → **auditory feedback**

Sonifikationsmodell muss 5 Rahmenbedingungen erfüllen:

4. Stille bedeutet Ausfall des Systems
5. keine Einschränkung verbaler Kommunikation

acoustic condition / process monitoring → machine learning → **auditory feedback**

Entwicklung von 3 Sonifikationsmodellen:

1. heartbeat model”
   - Normale Funktionalität repräsentiert als Doppelimpuls
   - bei zunehmender Fehlerwahrscheinlichkeit wird Impulsfolge gleichmäßiger
   - zusätzliche Obertöne
2. “soundscape model”
   - normale Funktionalität: Naturszenarium mit Vögeln und Grillen
   - bei erhöhter Fehlerwahrscheinlich Regen und Sturm

acoustic condition / process monitoring → machine learning → **auditory feedback**

Entwicklung von 3 Sonifikationsmodellen:

3. “music listening model”
   - berücksichtigt die Hörgewohnheiten der Maschinenführer
   - bei steigender Fehlerwahrscheinlichkeit Einschränkung der spektralen Bandbreite
   - zusätzlich wird das Tempo (schwankend) der gehörten Musik manipuliert (“Patina”-Effekt)

acoustic condition / process monitoring → machine learning → auditory feedback

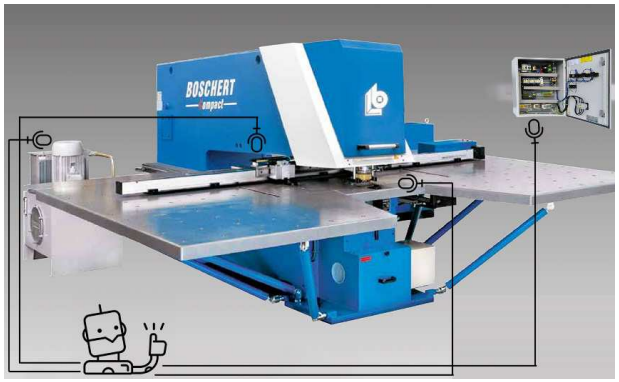
Zusammenfassung Proof-of-Concept 1:

- >93% Genauigkeit bei der Schätzung der Fehlerwahrscheinlichkeit zwischen normalen und fehlerhaften Prozessabläufen
- Proof-of-Concept-Implementierung von 3 Sonifikationsmodellen
    - Klang integriert sich in Umgebung
    - auch bei höherer Fehlerwahrscheinlichkeit keine Alarmeigenschaften
- System funktioniert in quasi Echtzeit (95ms)
    - zusätzliche Verzögerung bei kabelloser Verbindung

acoustic condition / process monitoring → machine learning → auditory feedback

Stanzmaschine (Proof-of-Concept 2)

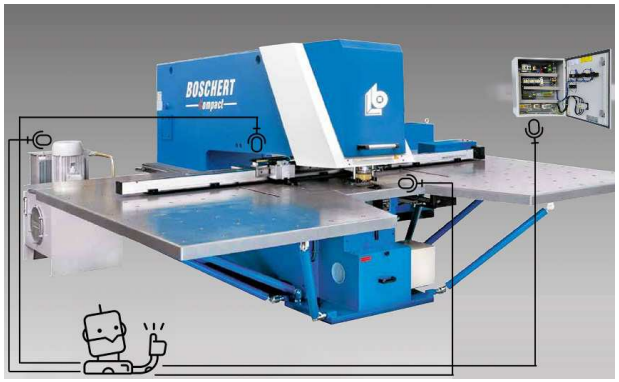
- weitgehend analoges Vorgehen wie bei erster Studie
- wesentlicher Unterschied:
  - keine binäre Klassifikation, sondern 3 zu unterscheidende Labels
    - Einlegen/Entnehmen Werkstück
    - Stanzen
    - Greifen/Verschieben Werkstück



acoustic condition / process monitoring → machine learning → auditory feedback

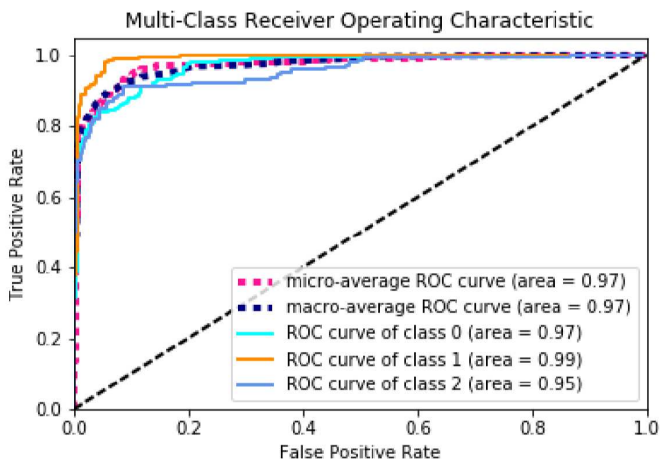
Model Testing (Stufe 2):

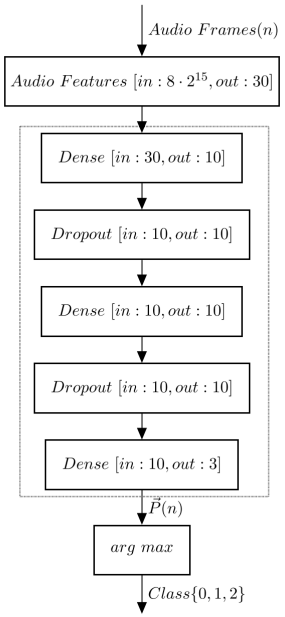
- Logistic Regression
- Decision Tree Classifier
- K-nearest Neighbor
- Support Vector Machine
- Random Forest Classifier
- Multi-Layer Peceptron Classifier
- Custom Artificial Neural Network

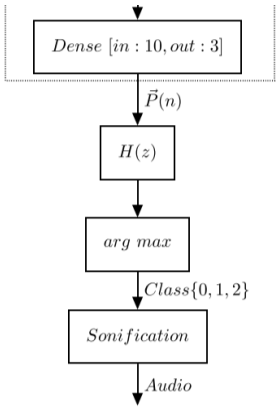


acoustic condition / process monitoring → machine learning → auditory feedback

Custom Artificial Neural Network



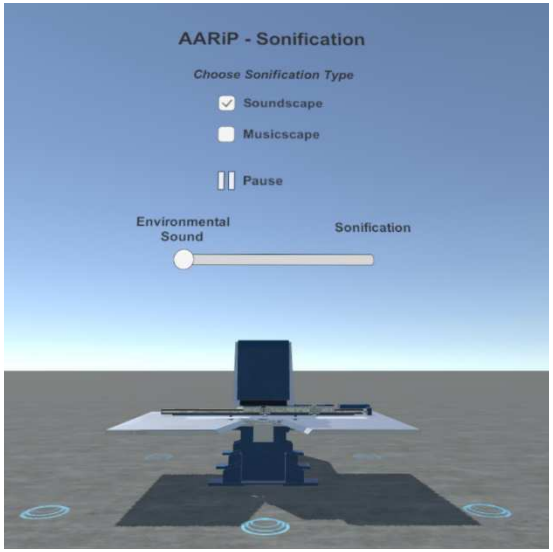




acoustic condition / process monitoring → machine learning → auditory feedback

Virtualisierung

- Demo Ausstellung



acoustic condition / process monitoring → machine learning → auditory feedback

- **nächste Schritte:**
  - Langzeit-Studie für eine zuverlässigere Datenbasis zur zuverlässigen Unterscheidung von zwischen Prozessen UND Zuständen
  - Implementierung von Source Separation-Verfahren im Vorfeld der Analyse
  - Implementierung einer MusicAI