

Stress Arousal Monitoring in Natural Environments

A dissertation submitted to
ETH ZURICH
for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
MARTIN KUSSEROW
Dipl. El.-Ing., ETH Zurich
born 27 December 1981
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gerhard Tröster, examiner
Prof. Dr. Elisabeth André, co-examiner

Abstract

The fight or flight reaction maintained survival over the course of thousands of years. To this end, physiological stress reactions of the human body helped to master anticipated extreme physical activity. Also performances in front of an audience and other stressful situations can trigger physiological stress reactions, although neither fight nor flight are apparently useful to successfully cope with the challenging situation. A racing heart, clammy hands, weak legs, and restricted self-perception can impair optimal performance during stressful situations, even curtail the professional career and jeopardise well being.

This thesis pursues the vision of personal, omnipresent stress arousal assistant systems that automatically detect stress arousal and unobtrusively assist their users. Wearable sensor systems and methods to monitor stress arousal are investigated. In contrast to artificial stress arousal conditions in the lab, this work especially focusses on monitoring real stressful situations in natural environments.

This thesis addresses three aims: (1) sensing modalities and systems, (2) context-specific monitoring of selected stress arousal situations, and (3) free-living monitoring without information about stress arousal contexts and their occurrences.

In the design of sensors nodes for monitoring in natural environments, the weight, size, battery runtime, and robustness to withstand mechanical strain due to body motion need to be considered. Based on these requirements, a miniature, wireless acceleration sensor node was developed to measure body motion. In addition, the developed sensor node was extended to also measure electrodermal activity. The sensors were deployed in a wireless body area network comprising of other sensing modalities, such as a heart rate monitor.

Monitoring in natural environments was carried out in context-specific and free-living conditions. Using defined stressors, context-specific monitoring was investigated in three different scenarios: (1) public talks, (2) ski jumping, and (3) music performance. This approach allowed for analysing which features of heart activity and behaviour can provide indicators of stress arousal, how does body motion influence these indicators, and which context-specific information can be used besides sensor-based indicators to characterise stress arousal.

Analyses showed that heart rate is an indicator of stress arousal, also in the presence of body motion. Using the example of a world-class ski jumping athlete, temporal heart rate patterns revealed information about stress arousal regulation. Exemplarily, a method was developed that quantify the relation between heart activity, body motion, and the probability of technical playing errors across multiple public performances of a cellist. Participants' self-report and activity information facilitated the interpretation of results obtained from sensor measurements.

Without segmentation information of context-specific monitoring conditions, stress arousal situations need to be automatically detected from continuous sensor data. Based on a phase model, a detection method was developed to segment and quantify stress arousal phases. The detection extends the existing *additional heart rate algorithm* by an algorithm for the estimation of duration and intensity of stress arousal phases. Using the developed method, personal profiles of stress arousal behaviour can be created.

Zusammenfassung

Kampf oder Flucht sicherten über Jahrtausende das Überleben in lebensbedrohlichen Situationen. Physiologische Stressreaktionen des menschliche Körpers helfen dabei, die bevorstehende extreme körperliche Anstrengung zu meistern. Auch Auftritte vor Publikum und andere mentale Belastungssituationen können physiologische Stressreaktionen auslösen, obwohl weder Kampf noch Flucht nützlich erscheinen, um die Herausforderung erfolgreich zu bewältigen. Herzrasen, feuchte Hände, weiche Knie und eingeschränkte Selbstwahrnehmung können in mentalen Belastungssituationen die optimale Leistungsfähigkeit mindern, in der Folge sogar die berufliche Karriere einschränken und die Gesundheit gefährden.

Diese Doktorarbeit verfolgt die Vision persönlicher Stressassistenzsysteme, die mentale Belastungssituationen automatisch erkennen und dem Nutzer unaufdringlich und allgegenwärtig Hilfe bieten können. Im Fokus der Untersuchungen stehen körpergetragene Sensorsysteme und Methoden zur Erfassung von Belastungssituationen. Anders als bei künstlichen Belastungsbedingungen im Labor, liegt die Besonderheit dieser Arbeit darin, dass reale Belastungssituationen in natürlichen Umgebungen erforscht werden.

Diese Doktorarbeit hat drei Zielstellungen: (1) Sensormodalitäten und -systeme, (2) kontextspezifisches Monitoring ausgewählter Belastungssituationen und (3) Monitoring im Alltagsleben ohne spezifisches Kontextwissen über Belastungssituationen und deren Auftreten.

Für das Monitoring in natürlichen Umgebungen ist beim Sensordesigns das Gewicht, die Grösse, die Batterielaufzeit und die Robustheit gegenüber mechanischen Belastungen durch körperliche Aktivitäten zu berücksichtigen. Ausgehend von diesen Anforderungen sind ein miniaturisierter, drahtloser Beschleunigungssensor zur Messung von Körperbewegungen und darauf aufbauend ein Sensor zur Messung der elektrodermalen Aktivität entworfen worden. Die Sensoren erlaubten die Kombination mit anderen Sensoren, z.B. einem Herzratenmonitor, in einem drahtlosen, körpergetragenen Sensornetzwerk.

Die Untersuchung des Monitorings in natürlichen Umgebungen erfolgte kontextspezifisch und im freien Alltagsleben. Kontextspezifisches Monitoring wurde unter Verwendung von definierten Belastungsfaktoren in drei unterschiedlichen Szenarien erforscht: (1) öffentlicher Vor-

trag, (2) Skispringen, sowie (3) Konzertsituation. In diesem Zusammenhang konnte analysiert werden, welche Merkmale der Herzaktivität und des Verhaltens Indikatoren für die Belastungssituation sind, in welcher Art und Weise körperliche Aktivität diese Indikatoren beeinflusst und welche Kontextinformationen neben Sensormesswerten genutzt werden können, um Belastungssituationen zu charakterisieren.

Die Analysen ergaben, dass die Herzrate auch im Beisein körperlicher Aktivität ein Indikator für den Grad der Belastung ist. Am Beispiel eines Weltklasseskispringers konnte gezeigt werden, dass der Vergleich von zeitlichen Herzratenmustern Informationen bezüglich Aktivierungsregulation liefern kann. Exemplarisch wurde auch eine Methode entwickelt, die den Zusammenhang zwischen Herzaktivität, Bewegungsmerkmalen und der Wahrscheinlichkeit technischer Spielfehler bei wiederholten Auftritten einer Cellistin vor Publikum quantifizierte. Selbsteinschätzungen und Aktivitätsinformationen der Versuchspersonen halfen die Ergebnisse der Sensormesswerte zu interpretieren.

Ohne Segmentierungsinformationen durch kontextspezifische Belastungssituationen ist es notwendig, Belastungssituationen in Sensorsignalen automatisch zu detektieren. Basierend auf einem Phasenmodell wurde eine Methode entwickelt, mit Hilfe derer Belastungsphasen im Tagesverlauf segmentiert und quantifiziert werden können. Die Detektion baut auf dem existierenden „Additional Heart Rate Algorithmus“ auf und erweitert diesen um einen Algorithmus zur Schätzung der Belastungsdauer und Intensität. Mit Hilfe der entwickelten Methode können persönliche Profile des Belastungsverhaltens erstellt werden.