ETH zürich

ETH Library

Automatic dietary monitoring using on-body sensors

detection of eating and drinking behaviour in healthy individuals

Doctoral Thesis

Author(s):
Amft, Oliver

Publication date:
2008

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-005648894

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETH No. 17780

Automatic dietary monitoring using on-body sensors:

Detection of eating and drinking behaviour in healthy individuals

A dissertation submitted to

ETH Zurich

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Oliver Amft

Dipl. Ing., Chemnitz University of Technology
Date of birth 16 August 1975
citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Gerhard Tröster, examiner
Prof. Dr. Wolfgang Langhans, co-examiner
Dr. Serge Reichlin, co-examiner

2008

Abstract

Energy balance and healthy eating behaviour are essential aspects that determine health risks for chronic diseases and general morbidity. This crucial relation becomes most prominent with the increasing share of citizens developing excessive body fat and weight worldwide. While short-term clinical interventions can help obese patients, long-term strategies are sought to prevent overweight and obesity. Sustained success in prevention is expected by supporting individuals in changing personal lifestyle and maintaining an appropriate eating behaviour.

Current weight and diet coaching programs use self-reporting techniques of eating behaviour to adapt and personalise feedback to participants. However maintaining these reports is an additional burden for participants. Moreover the reports incur large bias and hence, limit program success. Novel tools and technical solutions are sought that alleviate the individual from manual eating behaviour reporting.

In this work a novel concept is introduced, called automatic dietary monitoring (ADM), that targets this goal. New ADM-based diet coaching solutions are supported by the constant trend in electronic miniaturisation. Miniaturisation permits to embed sensors and computers in everyday objects, including clothing, accessories, and buildings. Systems that leverage this paradigm of pervasive computing can support their user with personalised health status and diet coaching services. Moreover ADM-based solutions conceptually permit coaching program durations of several years in order to make the coaching most effective. The essential functions of ADM-based solutions are sensing and recognition of the user's eating behaviour. This work evaluates on-body sensing and pattern recognition solutions for ADM.

The thesis comprises eight scientific publications that address four specific goals of this work: (1) to review on-body sensing solutions and modalities, relevant for diet monitoring, (2) to evaluate recognition of intake activities from continuous sensor data, (3) to infer intake cycles from temporally distributed activity events, and (4) to estimate eating behaviour from recognised activities.

On-body sensing solutions were reviewed with respect to the physiology of eating and activities directly related to food intake. Three activities were selected for further evaluation: intake gestures (using inertial sensors at arms and torso), chewing (using an ear-worn microphone to record food breakdown sounds) and swallowing (using Electromyography, EMG, and a stethoscope microphone).

A procedure to recognise activity events in continuous data was developed. The procedure utilises explicit data segmentation (equidistant or data-adaptive), a pattern search based on feature similarity and an event fusion step. All selected activities were evaluated using the recognition procedure. Data-adaptive segmentation was utilised for inertial sensors and EMG data. Equidistant segmentation was evaluated for all modalities. The feature similarity search was used to spot activity events of variable length. Finally, event fusion was used to combine several similarity search instances in one recognition result. The recognition performance for spotting and categorising activity events from all sensing solutions was quantitatively analysed in

several studies. It was shown how individual recognition stages improve performance.

A model was developed to describe food intake cycles. The model is based on a temporal composition of intake gestures, chewing, and swallowing events. To implement the model an activity event parsing approach was used. Applicability of the implementation was evaluated for different types of intake (food categories, drinking). In a second investigation, acoustic chewing phases were identified in intake cycles using an exploratory search approach. An acoustic chewing sequence model was introduced to facilitate the search task. The results show that acoustic phasing structure depends on food texture.

Finally, estimation of food type and amount from on-body sensor information was investigated. The relation of food, material texture and acoustic breakdown emissions was used to derive pattern models for discriminating up to 19 foods. Recognition of food-texture groups corresponding to nutritional recommendations (food pyramid) was evaluated. Furthermore, robust recognition of a fixed food set was demonstrated by combining the recognition procedure with intake cycle information. Food weight was estimated for individual bites of recognised foods. The weight estimation is based on timing and count variables of the chewing cycle structure. Predictive information of several variables was investigated. In a further investigation, bolus volume was classified from the swallowing reflex. While the latter approach provided categorical amount information, the approach based on chewing sequence variables allowed a continuous weight prediction.

Zusammenfassung

Energiegleichgewicht und gesundes Ernährungsverhalten sind zwei wesentliche Faktoren, die das Risiko für chronische Krankheiten und allgemeine Morbidität beeinflussen. Der weltweit wachsende Anteil von Personen mit überhöhtem Körperfett und -gewicht verdeutlicht diese Abhängigkeit. Während kurzfristige klinische Interventionen bei Adipositas-Patienten helfen, sind jedoch langfristige Strategien notwendig, um Übergewicht und Adipositas zu vermeiden. Einen nachhaltigen Erfolg versprechen Präventionsmassnahmen, die persönliche Lebensveränderung und adäquates Ernährungsverhalten unterstützen.

Aktuelle Beratungsprogramme für Gewicht und Ernährung benutzen Berichte über das Ernährungsverhalten, die vom Teilnehmer selbst verfasst wurden. Die Beratung wird entsprechend dieser Berichte angepasst und personalisiert. Für Programmteilnehmer ist das Ausfüllen der Berichte jedoch ein zusätzlicher Aufwand. Darüber hinaus, haben die Berichte einen hohen Bias und begrenzen damit den Programmerfolg. Neue Methoden und technische Lösungen sind nötig, um Programmteilnehmer von der manuelle Erfassung des Ernährungsverhaltens zu entlasten.

In dieser Arbeit wird ein neues Konzept eingeführt, genannt Automatic Dietary Monitoring (ADM), dass diese Entlastung zum Ziel hat. Neue, ADM-basierte Beratungsprogramme werden insbesondere durch den anhaltenden Miniaturisierungstrend bei elektronischen Systemen unterstützt. Die Miniaturisierung erlaubt es, Sensoren und Computer in alltägliche Objekte zu integrieren, wie zum Beispiel in Kleidung, Accessoires und in Gebäude. Systeme, die diesen Gedanken des Pervasive Computing verfolgen, können ihren Benutzer mit personalisierten Rückmeldungen zum Gesundheitsstatus und Ernährungsberatungsdiensten unterstützen. Darüber hinaus erlaubt das ADM Konzept eine Programmdauer von mehreren Jahren, um die Beratung wirkungsvoll zu gestalten. Die wesentlichen Funktionen ADM-basierter Lösungen sind die messtechnische Erfassung und Erkennung des individuellen Ernährungsverhaltens. Dieser Arbeit untersucht insbesondere körpergetragene Sensoren und Lösungen zur Mustererkennung für ADM.

Die Arbeit besteht aus acht wissenschaftlichen Publikationen, die vier spezifische Ziele verfolgen: 1. Evaluierung von körpergetragene Messlösungen und Modalitäten zur Ernährungsbeobachtung, 2. Untersuchung zur Mustererkennung in Aktivitäten der Nahrungsaufnahme, 3. Erkennung des Nahrungsaufnahmezykluses aus zeitlich verteilten Aktivitätsereignissen und 4. Bestimmung des Ernährungsverhaltens auf Basis der Aktivitätserkennung.

Es wurden körpergetragene Messlösungen im Hinblick auf die Ernährungsphysiologie und Aktivitäten untersucht, die direkt mit der Nahrungsaufnahme zusammen hängen. Drei Aktivitäten wurden für die weitere Untersuchung ausgewählt: Gesten zur Nahrungsaufnahme (mit Hilfe von Inertialsensoren an den Armen und am Rumpf), Kauen (mit Hilfe eines Ohrmikrophon zur Aufnahme von Kaugeräuschen) und Schlucken (mit Hilfe von Elektromyographie, EMG, und einem Stethoskop-

Mikrophon).

Ein Verfahren zur Mustererkennung von Aktivitätsereignissen in kontinuierlichen Daten wurde entwickelt. Das Verfahren nutzt die drei Schritte Datensegmentierung (äquidistant oder daten-adaptiv), eine Mustersuche basierend auf Merkmalähnlichkeiten und eine Ereignis-Fusion. Alle ausgewählten Aktivitäten wurden mit diesem Erkennungsverfahren untersucht. Die daten-adaptive Segmentierung wurde für Inertialsensoren und EMG-Daten eingesetzt. Die äquidistante Segmentierung wurde auch für alle weiteren Sensormodalitäten untersucht. Die Merkmalähnlichkeitssuche wurde benutzt, um Aktivitätsereignisse mit variabler Länge zu erkennen. Schliesslich wurde die Ereignis-Fusion entwickelt, um mehrere Instanzen zur Merkmalähnlichkeitssuche in einem Erkennungsergebnis zu verknüpfen. Die Erkennungsleistung für Detektion und Kategorisierung von Aktivitätsereignissen aller Messlösungen wurde in mehreren Studien quantitativ untersucht. Die Arbeit zeigt, wie die Erkennungsschritte eine kontinuierliche Erkennungsleistung verbessern.

Ein Modell wurde entwickelt, um den Nahrungsaufnahmezyklus zu beschreiben. Das Modell basiert auf einem zeitlichen Verbund von Gesten, Kau- und Schluckereignissen. Zur Umsetzung des Modells wurde ein linguistischer Analyseansatz zur Verarbeitung von Aktivitätsereignissen benutzt. Die Anwendbarkeit wurde anhand von verschiedenen Ernährungsformen (Speisekategorien, Trinken) untersucht. In einer zweiten Untersuchung wurden akustische Phasen im Nahrungsaufnahmezyklus mit Hilfe einer explorativen Suche identifiziert. Ein akustisches Kausequenzmodell wurde eingeführt, um die Suche zu ermöglichen. Die Ergebnisse zeigen eine Phasenstruktur in Abhängigkeit von der Speisentextur.

Schliesslich wurde die Bestimmung von Speisetyp und -menge aus Informationen der körpergetragenen Sensoren untersucht. Die Beziehung von Speise, Materialtextur und akustischen Zerbrechemissionen wurde benutzt, um akustische Modelle für die Unterscheidung von 19 Speisen zu bestimmen. Die Erkennung von Speisen-Texturgruppen wurde in Anlehnung an Ernährungsempfehlungen (Ernährungspyramide) untersucht. Weiterhin wurde die stabile Erkennung einer festgelegten Speisenzahl gezeigt, indem das Erkennungsverfahren mit Informationen aus dem Nahrungsaufnahmezyklus ergänzt wurde. Das Speisengewicht wurde für einzelne Bissen einer Speise bestimmt. Diese Gewichtsschätzung basiert auf zeitlichen Variablen und Zählgrössen aus der Kausequenzstruktur. Die Schätzqualität verschiedener Variablen wurde untersucht. In einer weiteren Untersuchung wurde das Bolusvolumen während des Schluckreflexes diskriminiert. Während der zweite Ansatz kategorische Mengeninformationen liefert, erlaubt der Ansatz basierend auf Kausequenz-Variablen die Schätzung eines kontinuierlichen Gewichtswerts.