

学位論文題名

Privacy-Preserved Human Behavior Analysis Using Infrared Sensor Network

(赤外線センサネットワークによるプライバシーに配慮した行動分析)

学位論文内容の要旨

Human Behavior Analysis (HBA) is becoming more and more indispensable for Ambient-Assisted Living (AAL) and surveillance application areas in recent years. Most of the HBA are realized by vision techniques, however, the privacy is an inevitable problem. In our study, an infrared (motion) sensor network is designed and applied for HBA. Different from vision techniques, our system is privacy-preserved and brings almost no psychological/physical disturbance to the daily lives of users.

This study ranges from localization of a single person to tracking of multiple persons and activities/actions recognition of people. Two key features of low-cost equipment and privacy protection are imposed in our system. The major problem is that these sensors usually provide only binary response at each epoch: if a target is present or absent. At this point it is challenging to find efficient approaches to realize the localization, tracking and behavior analysis of multiple users. In this study, we realized person localization and multiple targets tracking in an office environment, and conducted another smaller home environment in the corner of our laboratory to realize activities/actions recognition and fall detection. In this dissertation, some trials on improving networks and algorithms for achieving these goals have been described.

There are 8 chapters in this dissertation. Chapter 1 gives a simple introduction of this research; the research background can be found in Chapter 2; the introduction of our system including the device and software is in Chapter 3; Chapter 4 introduces the localization algorithm and the soft authentication; on the basis of localization algorithm, the soft tracking of multiple persons is realized in Chapter 5. Chapter 6 explains how to recognize activities/actions in our system. In Chapter 7, we propose the speed thresholds and introduce a martingale framework to detect falls of a single person in the home environment, the conclusion is given in Chapter 8.

Person localization and identification are indispensable to provide various personalized services in an intelligent environment. We proposed a novel method for person localization and developed a system for identifying multiple persons in an office room to realize soft authentication. This system in the office room consists of forty-three infrared ceiling sensors with low cost and easy installation. In experiments, the average distance error of person localization was reduced to 31.6cm that is an acceptable error for sensors with 1.5m distance to each other. We also confirmed that walking path and speed together gives sufficient information for authenticating the user. Through the experiments, we obtained the correct recognition rates of 98%, 95% and 86% for any pair, any three people and all ten people to identify individuals. Based on the localization method, we also recorded the activities of daily living (ADLs) of a person successfully. By observing the ADLs of the person, we can investigate the transition pattern between activities and the living habits of him/her conveniently.

We also proposed a novel algorithm for tracking multiple persons. This system can be operated at any time and anywhere in a room for tracking multiple persons. The experimental results showed that our system could track up to 8 persons simultaneously for hours in an office room with a high trace accuracy (about 90%), though some ambiguities are inevitable.

In a smaller home environment established in a corner of our laboratory room, another infrared ceiling sensor network system consists of twenty sensors was built to realize human activities/actions recognition and fall detection of a single person. The sensors output multiple binary sequences from which we know the existence/nonexistence of persons under the sensors. The short duration averages of the binary responses are shown to be able to be regarded as pixel values of a top-view camera. Using the "pixel values" as features, support vector machine classifiers succeeded to recognize eight activities (walking, reading, etc.) performed by five subjects at average recognition rate of 80.65%. In addition, we introduced a martingale framework for detecting falls in this system. The experimental results showed the best performance of 95.14% (F1 value), the FAR of 7.5% and the FRR of 2.0%. This accuracy is not sufficient in general but surprisingly high with such low-level information.

In summary, we have the following contributions in this study: (1) we proposed an algorithm for indoor localization of a single person, (2) multiple persons were tracked and authenticated in an office room, and their ADLs were recorded to analyze the transition pattern between activities, (3) multiple activities/actions recognition was realized by the top-view camera usage of the sensor network, (4) a martingale framework was introduced to detect falls. In total, it is shown that this system has the potential to be used in the home environment to provide personalized services for the residents and to detect abnormalities of elders who live alone.

学位論文審査の要旨

主査	教授	工藤峰一
副査	教授	今井英幸
副査	教授	鈴木恵二
副査	准教授	野中秀俊

学位論文題名

Privacy-Preserved Human Behavior Analysis Using Infrared Sensor Network

(赤外線センサネットワークによるプライバシーに配慮した行動分析)

手のひら静脈認証など厳格に個人を認証するための生体認証はすでに実用となっているものの、個人毎にサービスを切り替えることを目的とした振舞い認証の研究は始まったばかりである。個人ごとに異なる振舞いの違いや癖に注目して利用者を同定し、その人に合ったサービスや機能を提供することはオフィスやケアハウスなどの複数人が共同の設備を使うような環境で特に有効である。また、認証は必要ないものの、振舞い分析を独居老人などの見守り技術につなげることも期待される。

ビデオカメラを使った行動分析の方法は枚挙にいとまがない。しかし、監視されていると感じる人も多く、視界が遮られる場合や暗闇では使えないなど課題も多い。より環境変動に強い方式として、加速度センサーつきの発信機などを対象者に持たせる方式も多く検討されている。しかし、高齢者は何かを持たされたり身に着けさせるのを拒む傾向がある。つまり、利用者の尊厳やプライバシーへの配慮なしにはこれらの技術は実用性を持たない。

本研究では、赤外線モーションセンサーネットワークを天井に設置することでこれらの問題の多くを解決しつつ個人毎追跡を実現している。ビデオとは違い、得られる情報はたとえ漏えいしてもそれだけでは個人のプライバシーを侵害するようなものではない。また、通常、監視されている気分を与えない。しかし、一方で得られる情報は極めて少ない。実際、一つのセンサーはその受光範囲内で人体温度の物体が動いたという事実以外は何も伝えない。従って、個人毎に追跡していた二人がどこかですれ違った場合、個人を認証し続けることはもはやできない。それでも、“人は急に方向転換しない”といった常識や個人毎の振る舞いの違いを利用することで問題の解決を図ることができる。また、「ベッドでは寝る」というような“場所と動作の関連性”を利用することで、追跡結果を利用した行動分析が行える。本研究はこれらの技術を集大成したものである。実用性の検証のために、一般的なオフィス環境における継続的な個人毎追跡、家庭環境における行動分析、そして異変検知への応用例として独居老人を想定した家庭内での転倒検出方式を報告している。

本論文では、第1章で問題背景を述べ、これまでの研究動向を第2章でまとめている。第3章でシステムを説明した後、第4章において高精度な位置推定方式を提案している。第5章では、歩速や習慣的な歩行経路の違いなどにより個人を同定するアイデアを取り入れて継続的な個人毎追跡を実現している。続く第6章では、ネットワークの性能を擬似的に発展させ、場所に関連した行動分類方式を提案している。第7章では、これらの技術を利用して「転倒」検出を行っている。統計的な異常

検出法であるマルチンゲールを使った検出方法を提案し、実用に供するレベルの精度を得ている。第8章でまとめを行い、残された課題を示している。

本論文による成果は以下にまとめられる。

1. プライバシーに配慮しつつ複数人の行動を追跡的に把握するという野心的な試みを天井設置の赤外線センサーネットワークによって実現し、その有効性を実証した。
2. 赤外線ネットワークを利用した位置推定の技術を発展させ (センサーの物理的配置精度 1.5m を超える 32 の精度を実現)、日常的な環境での利用可能性を高めた。振舞い認証の技術と併せることで、最大 8 人までのオフィス環境において 4 時間程度までであればほぼ全員の現在位置を継続的に把握できることを示した。
3. 行動解析と記録に対して有効な「擬似カメラ」を開発した。高い時間解像度 (80Hz) を利用して短時間平均を取ることで強度解像度を元の 2 から 80 に上げ、センサー位置の重みつき平均を取ることで空間解像度も併せて上げることで、センサーネットワークをビデオカメラのように使えることを示した。これにより、場所との関連性を利用して 8 種類の行動を 65 % 程度の認識率で分類することに成功した。
4. 現実の問題解決の一つとして高齢者の転倒検出を行う技術を開発した。結果として、FAR(False Acceptance Rate)7.5 %,FRR(False Reject Rate)2.0 %を達成した。

これを要するに、著者は、プライバシーに配慮しつつ個人と場所を同時に同定するという挑戦的な課題に対して一つの有効な方式を開発し、行動分析や転倒検出などへの広い応用可能性を示した。よって著者は、北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。