

InstaMon – Sturzerkennung und Meldung im Lichtschalterformat

Dipl.-Ing. (FH) Lothar Feige, pikkerton GmbH, Berlin

Kurzfassung

Dieser Beitrag stellt einen neuen Ansatz zur Erkennung von Gefahren wie Stürzen vor. Dabei wird ein Thermopile-Array-Verfahren angewendet. Es wird keinerlei externe Infrastruktur benötigt, Standardeinrichtungen der Elektroinstallation (z.B. Unterputzgerätedose) können einfach verwendet werden. Hauptaugenmerk der Entwicklung liegt neben der Erkennungsqualität auf dem größtmöglichen Schutz der Privatsphäre. Lediglich 64-128 Temperaturpunkte werden untersucht; die Klassifizierung wird ohne weiteren Transport der Sensordaten lokal im Gerät durchgeführt.

Abstract

This paper presents a new approach for the detection of critical situations like falls. The recognition is based on a thermopile sensor array. The device does not need any external infrastructure elements or local networks. Existing standard equipment of the electrical installation in rooms can be used. Besides the detection quality, the protection of privacy is focussed, so only 64-128 temperature sensor values are captured and analysed. The classification is done by local intelligence, without the need for pushing data to external services or stations via potentially insecure paths.

1 Einleitung

Aus dem demographischen Wandel resultiert eine immer älter werdende Bevölkerung. Die Menschen werden älter und leiden im höheren Alter häufiger an Demenz oder sind anderweitig betreuungsbedürftig. Innerhalb der nächsten 15 Jahre könnte die Zahl pflegebedürftiger Menschen in Deutschland um etwa 35% steigen. Galten im Jahr 2013 noch rund 2,6 Mio. Personen als pflegebedürftig, so werden es im Jahr 2030 voraussichtlich 3,5 Mio. sein [1]. Zu den schlimmen Folgen von Stürzen älterer Leute gibt es diverse Statistiken, Literatur, Studien und Dissertationen. So versterben mehr als 3/4 aller häuslich tödlich Verunfallten über 65 Jahre durch Stürze (z.B. 6.245 Tote im Jahr 2012) [2].

2 Bisherige Technologien und Geräte zur Sturzerkennung

Im Folgenden werden bisher übliche Verfahren zur Sturzerkennung und die damit verbundenen Herausforderungen kurz beschrieben.

2.1 Bildgebende Verfahren

Kamerabasierte Verfahren scheinen – bei entsprechender Nachtsichtfunktion bzw. ohne Infrarotfilter – eine sehr zuverlässige Datenquelle für Bewegungsanalyse und eine daran anschließende Situationsbewertung zu sein. Bei Unklarheiten können Situationen nach Weiterleitung der Daten von Menschen möglicherweise besser bewertet werden. TOF (time of flight)-Kameras liefern zudem neben der eigentlichen Bildinformation noch die jeweilige Entfernung des Bildpunktes zur Kamera, also eine Art 3D-

Bild. TOF-Kameras sind trotz sinkender Preise noch immer relativ kostspielig.

Ein Nachteil solcher Installationen ist die hohe Rechenleistung, die zur Verfügung gestellt werden muss. Diese Rechenleistung verursacht Verlustleistung und demnach Wärme, die man in Form von Strom beim Energieversorger bezahlt.

Ein deutlich gravierenderer Nachteil von bildgebenden Verfahren ist jedoch die Verletzung der Privatsphäre. Man wird sich weder mit der Gewissheit der permanenten Anwesenheit einer Kamera, noch an einen Weitertransport von Video- und / oder Bilddaten langfristig und guten Gewissens einverstanden erklären.

Der Schutz der Privatsphäre ist in Deutschland aus dem allgemeinen Persönlichkeitsrecht des Grundgesetzes [3] ableitbar. Weiterhin sind sowohl die Unverletzlichkeit der Wohnung [4] sowie das Post- und Fernmeldegeheimnis [5] rechtlich bindend und gelten selbstverständlich auch für ältere, gebrechliche Leute.

EU-weit gilt das Recht auf Achtung des Privat- und Familienlebens [6].

2.2 Geräte zur Fixierung an einer Person

Verschiedene am Markt verfügbare Geräte („Wearables“) können in zwei Gruppen aufgeteilt werden: aktive und passive Geräte.

Passive Geräte setzen zuverlässig einen Notruf per Funk ab, wenn die gestürzte oder anderweitig verunglückte Person sowohl Bewusstsein als auch genügend mentale Klarheit besitzt, den richtigen Knopf zur Alarmierung zu betätigen.

Aktive Geräte basieren zumeist auf MEMS-Beschleunigungssensorik und / oder auf Luftdruckmessungen, die wiederum Aufschluss über die Vertikalbewegungen von Personen oder zumindest des Gerätes erlaubt.

Beide Arten von Geräten können als störend empfunden werden und möglicherweise das Verletzungsrisiko im Falle eines Sturzes trotz zunehmender Miniaturisierung der Elektronik erhöhen. Sie können wissentlich oder unbeabsichtigt abgestreift oder vergessen werden und erfordern demnach eine Tragedisziplin, auch nachts. Darüber hinaus sind die Geräte batterie- oder akkubetrieben und sind daher an regelmäßige Wartungsmaßnahmen gebunden.

Vorteil dieser Geräteart sind sicherlich die günstigen Gerätekosten pro erfasster Fläche / Reichweite des Systems.

2.3 Sensorböden

Es existieren Sensoranordnungen, die in Verbindung mit elastischen Bodenbelägen Stürze detektieren können. Diese funktionieren auf Basis eines Rasters von kapazitiven Näherungssensoren in Verbindung mit Funkmodulen und einem Empfängersystem. Dazu muss die entsprechende Sensorik unter den Bodenbelag der zu erfassenden Wohnfläche installiert werden.

2.4 Sonstige Technologien

Es gibt Installationen aufgebaut aus vertikal angeordneten Kombinationen von herkömmlichen PIR (passiv infrarot) Sensorelementen. Dabei werden horizontale Ebenen gebildet und Bewegungsübergänge zwischen diesen Ebenen [7,8] oder aber anhand einer Referenzlinie [9] überwacht.

Es gibt Installationen aufbauend auf aktiv IR-strahlenden Geräten, die ein Infrarot-Punktmuster auf eine Person werfen. Dieses Punktmuster wird dann von einer weiteren Sensorik erfasst und ausgewertet [10].

3 Anforderungen und wünschenswerte Produkt-Features

- Geringe Geräte-/ Systemkosten
- Geringe Betriebskosten (z.B. Strom, Batterien)
- Hohe Reichweite / großer Erfassungsbereich
- Zuverlässige und automatische Erkennung kritischer Situationen ohne Interaktion des Benutzers, 24 Stunden, 7 Tage die Woche
- Geringe Installationskosten (z.B. bauliche Maßnahmen)
- Einfache und zuverlässige Konfiguration, nach Möglichkeit auch von Nicht-Experten
- Schutz der Privatsphäre
- Schutz erfasster Daten vor dem Zugriff Dritter
- Hohe Akzeptanz in Hinblick auf die Balance zwischen dem wahrgenommenen Schutz, der verbleibenden Behaglichkeit und den möglichen Einschränkungen durch die Wahrnehmung der installierten Geräte

4 InstaMon-Geräte

Die Geräte der InstaMon-Familie sind autark arbeitende Sensorsysteme, die im Formfaktor eines Lichtschalters (Installationsschalter gemäß DIN 49200) aufgebaut sind.



Bild 1 InstaMon-Gerät Frontansicht

Der Formfaktor ist daher standardisiert; durch die Beschränkung auf 32mm Einbautiefe sind auch herkömmliche (nicht-extratiefe-Unterputzdosen) oder aber auch Aufputzrahmen verwendbar.

Der innere Aufbau ist mehrteilig. Der untere Block besteht aus einem CAT3-Netzteil, in der Mitte befindet sich der Controller samt Speicher mit Kommunikationseinheiten, im oberen Bereich ist die Sensorik, das Audioequipment, das Interface sowie Antennentechnik angeordnet.



Bild 2 Geräteansichten mit und ohne Gehäuse

Damit ein vorhandener Lichtschalter durch InstaMon ersetzt werden kann, beinhaltet das Gerät sowohl einen Taster als auch ein hochwertiges, bistabiles Schaltrelais mit hohem Inrush-Current, damit ohmsche, kapazitive und induktive Lasten sicher und langlebig geschaltet werden können. Die Schaltfunktion kann sowohl für Tasterschaltungen als auch für Ausschaltungen konfiguriert werden. InstaMon verfügt demnach über 3 Anschlüsse in Form von schraubenlosen Klemmen: L, L' (Schalt draht) und N.

4.1 Sensorprinzip

Der Sensorkern besteht aus mehreren Infrarot-Thermopile-Sensoren, die jeweils 64 Temperaturpunkte liefern. Der Erfassungswellenlängenbereich ist mit ca. 8 bis 12 μm auf die vom Menschen ausgehende Infrarotstrahlung ausgerichtet. Die Reichweite beträgt max. 6,5 m.

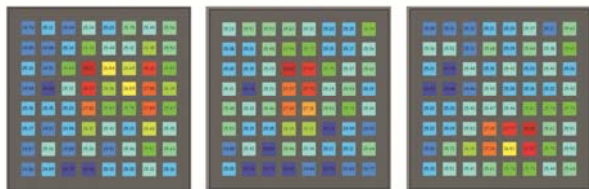


Bild 3 Darstellung der Sensorwerte (3 Situationen)

Diese überschaubare Anzahl von Sensordaten reicht einerseits aus, um daran anschließende Bildverarbeitungsalgorithmen zu bedienen und wird andererseits offensichtlich der Anforderung des Schutzes der Privatsphäre gerecht, da weder Extremitäten, Gesten oder Mimik noch andere personenbezogene Daten erkannt werden können.

Durch Interpolationsverfahren ergibt sich zwar kein Informationsgewinn, jedoch wird die Sachlage im Raum etwas deutlicher:



Bild 4 Darstellung interpolierter Sensorwerte

4.2 Objekterkennung

Die Temperaturwerte werden segmentiert und vom Hintergrund abgetrennt. Die Objekte werden verfolgt und mit verschiedenen Attributen versehen. Diese Attribute werden kontinuierlich gepflegt, Plausibilitätsanalysen zugeführt und ggfs. verworfen oder anderweitig bewertet bzw. korrigiert.

Die aus den Objekten extrahierten Merkmale sehen dann folgendermaßen aus (Darstellung samt energetischem Schwerpunkt sowie Bounding-Box).



Bild 5 Auszug einiger extrahierter Merkmale

Einige dieser Merkmale sowie statistische Parameter werden nun verschiedenen, weiteren Algorithmen zugeführt. Hier werden sowohl experten- als auch datenbasierte Formen der Situationsbewertung gewählt.

Weitergehende Gefahren wie extreme Hitzeentwicklung (Brände), insbesondere in der Küche, können relativ einfach erkannt und demnach auch frühzeitig gemeldet werden.

4.3 Weitere Sensorik

Neben den Thermopile-Sensoren werden noch die Raumtemperatur sowie die Luftfeuchtigkeit messtechnisch erfasst. Dadurch können gefährliche Situationen wie z.B. das Auskühlen der Wohnung bei starker Kälte durch Nachlässigkeit beim Lüften rechtzeitig gemeldet werden. Über eine Taupunktberechnung können gesundheitlich schädliches Klima sowie die Ursachen für Schimmelbildung in der Wohnung erkannt und demnach zukünftig vermieden werden.

4.4 Kommunikation

Die InstaMon-Gerätefamilie verfügt zunächst über ein GSM- und einen WiFi-Adapter. Tendenziell sind auch weitere Schnittstellen wie ZigBee oder 869 MHz denkbar und relativ einfach integrierbar.

4.4.1 GSM für Sprach- und Datenverkehr

Das Gerät ist zunächst als GSM-Gerät konzipiert (2G) und verfügt demnach über einen SIM-Karten-Slot. Durch die integrierte Dual-Band-Antenne kann sich das Gerät in alle europaweit verfügbaren Mobilfunknetze einbuchen. Je nach Konfiguration können SMS verschickt werden oder aber auch Sprachrufe aufgebaut werden.

Das Gerät verfügt über eine integrierte Freisprecheinrichtung, bestehend aus einem Lautsprecher mit mehr als 80 dB Schalldruck (1m) sowie einem integrierten Mikrofon. Dadurch kann die hilfebedürftige Person direkt angesprochen und angehört werden. Mikrofonempfindlichkeit und Schallpegel des Lautsprechers sind einstellbar.

4.4.2 WiFi

Das integrierte WiFi-Modul (IEEE 803.11 b/g/n) erfüllt im Wesentlichen drei Aufgaben.

Über WiFi kann das Gerät konfiguriert werden. Andererseits können vom GSM unabhängige Dienste wie VoIP, Email, etc. zu Sprach- und Datentransportzwecken betrieben werden.

Weiterhin wird untersucht, in wie fern die verwendeten WiFi-Module miteinander koppelbar sind, um nicht alle Sensoren mit GSM-Modulen ausstatten zu müssen. Damit könnten sowohl die Installations- als auch die Betriebskosten reduziert werden:



Bild 6 Kopplung von InstaMon-Geräten über WiFi

4.5 Installation

Die Installation muss von einem Fachmann durchgeführt werden (Elektroinstallateur).

4.5.1 Einbau & Lichtschalterersatz

Neben den drei Anschlüssen für die Stromversorgung (L, N) sowie den Schaltdraht (L') bedarf es keiner weiteren Arbeiten. Das Gerät ist spreizklemmenlos und wird mit Rahmenschrauben schnell und sicher in eine Unterputz-Schalterdose oder aber in einen Aufputzrahmen montiert.

4.5.2 Automatisches Orientierungslicht

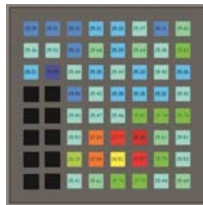
Im unteren Teil der Frontplatte befinden sich ein kleines, weißes Orientierungslicht sowie ein integrierter Helligkeitssensor. Wird im Dunkeln Bewegung detektiert, so wird die LED langsam an- und ausgedimmt, damit sich die Person besser orientieren kann und Stürze vermieden werden können.

4.5.3 Konfiguration

Die Konfiguration der vielen Sensoren, Schwellwerte und Alarmierungen wird über das integrierte WiFi-Modul und einem schlanken Webserver realisiert. Das InstaMon-Gerät ist gemäß Werkseinstellung ein Access-Point und lässt sich somit per Smartphone oder Notebook bequem konfigurieren.

Als Alarmquellen können zunächst das gesamte oder aber auch Teile des Thermopile-Array-Moduls verwendet werden.

Es lassen sich einzelne Pixel an- oder ausschalten, um spezielle Bereiche gezielt auszusparen und von der Sturzerkennung auszunehmen (z.B. im Bad oder im Schlafzimmer). Dazu sieht der Benutzer die entsprechenden aktuellen Sensordaten in der Web-Oberfläche.



Darüber hinaus kann auch auf ausbleibende Aktivität getriggert werden (Ausbleiben von Bewegungen in einstellbaren Zeitfenstern).

Die Schwellwerte für die Überwachung dauerhafter Auskühlung oder ungesundes Raumklima im Allgemeinen können ebenfalls eingestellt werden.

Für die Alarmierung können beliebige Ziele definiert werden (SMS, Sprachanrufe in nahezu beliebiger Anzahl und Reihenfolge für GSM sowie VoIP und Email für WiFi).

5 Technische Daten

Formfaktor	DIN 49200, Geräteschalter für UP-AP-Montage, Einbautiefe 32mm
Material, Schutzart	PC-0, IP20
Bemessungsspannung	230V
Überspannungskategorie	CAT III

nach VDE 0110 / EN 60664	
Stromverbrauch typ. [W]	<1,5
Primärsensor	IR-Thermopile-Array
Reichweite [m]	Max. 6,5
IR-Wellenlänge [µm]	8-12
Öffnungswinkel [°h, °v]	120, 60
Sekundärsensoren	Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Helligkeit, Erschütterungssensor
Funkmodul 1	GSM / 2G, 900/1800 MHz
Funkmodul 2	WiFi 802.11 b/g/n
Relaisausgang Bemessungsstrom [A, W]	2,5 / 575, konfigurierbar als Taster oder Ausschaltkontakt, bistabil
Audio - Lautsprecher	>80 dB SPL @ 1m, angesteuert über Codec mit 7-Band-Equalizer
Audio - Mikrofon	MEMS, integriert
Eingabemöglichkeiten	Taster für Lichtsteuerung MEMS-Tap-Sensor mit verschiedenen Funktionen (z.B. Tap, Double-Tap)

6 Herausforderungen und Lösungsansätze

Die größten Herausforderungen für das Gerät und die klassifizierenden Algorithmen liegen bei der Erfassung und Auswertung der infraroten Strahlung sowie der definierten Bauform.

6.1 Störungen durch bauliche Gegebenheiten

Störungen können entweder durch fremde, strahlende Festkörper verursacht (Heizungen, Elektrogeräte, ggfs. große Haustiere) oder aber durch im Raum stehende Hindernisse (z.B. Tische oder Stühle) behindert werden.

Die übliche Montagehöhe der Lichtschalter beträgt ca. 1,10 bis 1,20 m, sodass stehende oder gehende Personen sicher detektiert werden, jedoch im Fall eines Sturzes der Person hinter einen Gegenstand eine totale oder zumindest großflächige Abdeckung möglich erscheint. Dieses Pattern (vertikale Bewegung nach unten bei abnehmender Energie) ist vom Prinzip her durchaus im Expertenansatz implementierbar. Dies gilt auch für den Sturz vor Heizungen. Dennoch sollte die Sicht des Sensors in den Raum so frei wie möglich sein.

6.2 Lernvorgang und Training

Da eine False-Negative-Situation verheerender ist, als eine False-Positive-Meldung, ist der Klassifikator entsprechend scharf eingestellt. Nichtsdestotrotz sind permanente Fehlalarme natürlich nicht akzeptanzfördernd.

Um dieses Dilemma zu lösen, ist ein mehrstufiges Meldeverfahren implementiert. Nach erkanntem Sturz meldet das

Gerät per Lautsprecher eine Einschätzung der Situation als kritisch bzw. als Sturz. Der Bewohner hat nun innerhalb einer bestimmten Zeitspanne die Möglichkeit, diese möglicherweise unzutreffende Annahme in Form eines Tastendrucks oder Antippen des Lichtschalters unter Verwendung eines integrierten hochempfindlichen Erschütterungssensors zu quittieren. Dabei besteht nun die Option, die permanent in einem Ringspeicher gespeicherten und somit vorhandenen historischen Daten der letzten Minuten vor der Sturzerkennung für eine Optimierung / Weiterentwicklung des Klassifikators oder aber als hochwertige Trainingsdaten für einen datenbasierten Ansatz (z.B. neuronale Netze, Hidden Markov Modelle, etc.) zu verwenden. Dazu ist die Zustimmung des Nutzers / Bewohners und die damit verbundene Nutzung des WiFi- oder GSM-Kanals notwendig.

6.3 Hardware & Betriebssystem

Eine sehr große Herausforderung in der Geräteentwicklung ist die Verbindung von kleinstem zur Verfügung stehenden Bauraum bei klar definierten Maßen unter Berücksichtigung der für CAT3-Umgebungen erforderlichen Luft- und Kriechstrecken. Des Weiteren gehört dazu die für die Algorithmen und diversen Kommunikationsmodule erforderliche Rechen- und der damit verbundenen Verlustleistung. Insbesondere üppige Strom-Peaks, die vom GSM-Modem benötigt werden und durchaus auch praktisch Stromstärken von 2A erreichen, müssen sicher und stabil zur Verfügung gestellt werden. Das Software-Framework und die Bildverarbeitungsalgorithmen müssen effizient gestaltet und implementiert werden. Der Controller muss in Hinblick auf die jeweils aktuelle Betriebssituation im optimalen Power-Level gehalten werden. Unnötige Peripherie wird jeweils von der Versorgungsspannung abgetrennt. Wärmeherde sind von den empfindlichen Thermopile-Sensorelementen so gut wie möglich fernzuhalten, um ein erhöhtes Sensorrauschen zu vermeiden.

Eine weitere Herausforderung ist die Funkkommunikation. Optimale Antennen sind groß, verfügen über eine hinreichende Ground-Plane und stehen frei. Diese Umgebung steht in dieser Applikation nicht zur Verfügung.

Darüber hinaus ist auch eine einfache Montierbarkeit des Gerätes zu gewährleisten. Abdeckungen von Lichtschaltern bei durchzuführenden Schönheitsreparaturen in der Wohnung werden selten von Fachpersonal entfernt. Der mechanische Aufbau muss diesen Anforderungen ebenfalls entsprechen.

7 Weitere Anwendungen

Aufgrund der Flexibilität in Hinblick auf Protokolloffenheit und Austauschbarkeit der Kommunikationsmodule sind eine Reihe von weiteren Anwendungen möglich.

7.1 Nutzung der Sensorik

Der Thermopilesensor in Verbindung mit dem GSM-Modul kann z.B. sehr gut für Alarmanlagenzwecke ver-

wendet werden. Dafür genügt voraussichtlich ein Gerät pro Wohnung, vorzugsweise im Wohnzimmer oder im Eingangsbereich. Die Anlage könnte per Smartphone-App oder per Klopf-Code am Tap-Sensor gesteuert werden.

7.2 Andere Kommunikationsmodule

In Bezug auf die Kommunikationsprotokolle ist das Gerät flexibel. Andere Funkmodule wie ZigBee oder 869 MHz können einfach integriert werden, um so Verbindungen mit anderen Anlagen oder Systemen herzustellen.

7.3 Nutzung des Lautsprechers

Sprachdurchsagen aller Art, wie z.B. Notrufe oder aber Erinnerungen an Medikamenteneinnahmen können durch den Lautsprecher ausgegeben werden. Über Cloud-Dienste (Text to Speech, Speech to Text) könnten Dialogsysteme realisiert werden.

Denkbar ist auch der Betrieb der integrierten Freisprecheinrichtung als Telefonersatz für ältere Leute. Sprachanrufe zu Angehörigen können z.B. durch den integrierten Tap-Sensor oder eine Spracherkennung aufgebaut werden.

7.4 Nutzung des Mikrofons

Das Mikrofon in Verbindung mit der daran angeschlossenen Auswerteeinheit in Form des Controllers ermöglichen Anwendungen wie Babyphone, Spracherkennung bzw. Notfallmeldung über einen akustischen Hilferuf. Auch das Erkennen epileptischer Anfälle auf akustischer Basis erscheint denkbar.

7.4 Weitere Clientprotokolle

Es können weitere Software-Clients wie z.B. Skype oder WhatsApp integriert werden, was somit auch eine Nutzung von Benutzergruppen, z.B. aus Angehörigen oder Freunden bestehend, ermöglichen würde. Dazu müssen jedoch die Protokolle bzw. die jeweiligen APIs zur Verfügung stehen.

8 Literatur

- [1] Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB), Pressemitteilung 07/2015
- [2] Destatis, Statisches Bundesamt
- [3] Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland, Artikel 1 und 2
- [4] GG für die Bundesrepublik Deutschland, Artikel 13
- [5] GG für die Bundesrepublik Deutschland, Artikel 10
- [6] Grundrechte der Europäischen Menschenrechtskonvention von 1950, Artikel 8
- [7] Patent Cooperation Treaty (PCT), Publication Number WO 2013/014578 A1
- [8] Deutsches Patent- und Markenamt, DE 10 2012 209 612 A1
- [9] European Patent Application, EP 2 398 003 A1
- [10] European Patent Application, EP 2 763 116 A1