

Ein neuartiger, biologisch inspirierter, optischer Sensor für den Einsatz in Ambient Assisted Living Anwendungen

A novel bio-inspired optical sensor for ambient assisted living applications

Daniel Matolin, Ahmed Nabil Belbachir, Stephan Schraml
AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Vienna, Austria
{daniel.matolin | nabil.belbachir | stephan.schraml}@ait.ac.at

Kurzfassung

Die Publikation beschreibt ein neuartiges, biologisch inspiriertes, optisches Sensorprinzip zur Detektion von Helligkeitsänderungen und die Verwendung eines darauf basierenden stereoskopischen Sensorsystems zur Entfernungsmessung von bewegten Objekten. Der Ansatz eignet sich, aufgrund der bereits im Detektorelement vorgenommenen Extraktion relevanter Informationen und der Form in welcher die temporär veränderlichen Daten ausgegeben werden, dabei für eine kostengünstige Realisierung von Überwachungssystemen auf Basis räumlicher Bewegungsanalysen zum Erkennen kritischer Situationen im Lebensumfeld älterer Menschen.

Abstract

This paper presents a novel bio-inspired optical sensor approach with intra-pixel temporal change detection and its application in a stereo system for range finding of moving objects. Due to the inherent redundancy suppression and feature extraction on pixel-level the approach is well suited for the implementation of cost-efficient monitoring systems in the field of ambient assisted living.

1 Einleitung

Die steigende Lebenserwartung weiter Teile der europäischen Bevölkerung ist das Ergebnis beträchtlicher ökonomischer, sozialer und medizinischer Fortschritte. Dadurch wird den Menschen die Möglichkeit eröffnet, ein in der Geschichte beispiellos langes, angenehmes und sicheres Leben zu führen. Da sich die steigende Lebenserwartung in vielen Ländern allerdings schon seit geraumer Zeit mit einem Rückgang der Geburtenrate überschneidet, wird es zukünftig zunehmend schwierig, allein lebende Personen geeignet zu betreuen. Entsprechende Monitoring-Systeme können allerdings dabei helfen dieser Personengruppe möglichst lange ein unabhängiges und sicheres Leben im vertrauten Umfeld ihrer eigenen Wohnung zu erlauben.

Die Fähigkeit zur Detektion kritischer Situationen stellt dabei eine wichtige Funktionalität von Überwachungssystemen im Bereich des Ambient Assisted Living dar. Als ein besonders gefährliches Ereignis kann in diesem Zusammenhang der Sturz von Personen angesehen werden. Stand der Forschung von Falldetektoren sind dabei tragbare Systeme, welche am Körper mitgeführt werden. Das permanente Tragen solcher Geräte stößt aber speziell bei aktiven, älteren Leuten, aufgrund von Unbequemlichkeiten, auf Ablehnung. Daher können externe Überwachungssysteme, z. B. unter Verwendung von optischen Sensoren, welche nicht am Körper mitgeführt werden müssen, ein guter Kompromiss zwischen Komfort und Sicherheit sein.

Im Rahmen des CARE-Projektes [1] soll daher ein autarkes, selbstlernendes Monitoring-System, dessen Datenerfassung auf Stereotriangulation (dreidimensionales Sehen) mittels eines Paares neuartiger optischer Sensoren und einer automatischen Auswertung der Daten in Echtzeit beruht, entwickelt werden. Die Detektion und Meldung gefährlicher Situationen erfolgt dabei autonom und selbstständig. Durch das passive Monitoring wird die Lebensqualität geringstmöglich eingeschränkt.

Der Bereich des Ambient Assisted Living stellt dabei besondere Anforderungen an die Verwendung von Technologien der Bildsensorik. Konventionelle, getaktete Bildsensoren generieren üblicherweise einen Strom von Daten, der unabhängig von Signifikanz oder Redundanz übertragen, verarbeitet und gespeichert werden muss. Aus diesen Video-Daten werden gewöhnlich, mittels aufwendiger Signalverarbeitung, mit entsprechenden Anforderungen an Rechenleistung und Energieumsatz, die gewünschten Informationen extrahiert. Ein Verfahren bei dem die relevanten Daten schon im Sensorelement selbst ermittelt werden, kann dabei die technischen Anforderungen an das System insgesamt senken und die Verwendung von eingebetteten Signalverarbeitungssystemen, mit entsprechend niedrigeren Anforderungen bezüglich der Rechenleistung, zur Nachverarbeitung ermöglichen. Ein weiterer Nachteil herkömmlicher Bildsensoren beim Einsatz im Überwachungsbereich ist deren beschränkter Dynamikbereich von 65-75dB, während natürliche Szenen leicht einen Bereich von 100dB überstreichen. Eine Erhöhung des Dynamikbe-

reiches kann daher, speziell in dunkleren Bereichen einer Szene, für eine gesteigerte Sensitivität des Sensors bezüglich der Detektierbarkeit kritischer Situationen sorgen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Bildsensoren, arbeitet der optische Signalwandler im verwendeten Sensor als Änderungsdetektor auf Pixel-Niveau. Es erkennt dabei selbständig zeitliche Veränderungen der Bestrahlungsstärke, wodurch der Aufwand für das Erkennen von bewegten Objekten innerhalb einer Szene sehr stark reduziert werden kann. Damit werden nur die Teile einer beobachteten Szene signalisiert, in der neue Informationen aufgetreten sind. Die Erzeugung redundanter Daten wird so schon auf der Ebene des Pixels verhindert. Da der Änderungsdetektor dabei nur Informationen über Veränderungen liefert, aber kein Grauwertbild, ist der Sensor perfekt für Anwendungen mit speziellen Anforderungen bezüglich des Schutzes der Privatsphäre geeignet. Ein asynchroner Datentransfer von der Sensormatrix zu nachgeschalteten Komponenten komplettiert den Entwurf bezüglich eines möglichst niedrigen Energieumsatzes und einer hohen zeitlichen Auflösung. Der Sensor erlaubt dabei einen darstellbaren Dynamikbereich von 120dB.

2 Sensorelement

Abbildung 1 zeigt ein Blockdiagramm der Schaltung des verwendeten Sensorelementes nach [2]. Der Photodetektor ist als kontinuierlich arbeitender, logarithmischer Rezeptor ausgeführt, wobei die bei dieser Art von optischem Element üblicherweise hohe zeitliche Latenz bei Änderungen der Bestrahlungsstärke, mittels des Rückkoppelpfades, bestehend aus V_1 und M_1 , deutlich reduziert werden kann. Die Spannung am Ausgang des Verstärkers V_1 ist dabei gerade proportional zum Logarithmus des Photostromes I_{ph} , welcher wiederum linear von der Stärke der auftretenden Strahlung abhängt. Aufgrund dieses Zusammenhanges kann ein großer Bereich von I_{ph} , was einem hohen Dynamikbereich entspricht, erfasst werden. Das Sensorelement erlaubt dabei eine realistische Abbildung von Szenen mit einem Dynamikbereich bis 120dB.

Die üblicherweise schlechten Eigenschaften dieses Photodetektors bezüglich seines Gleichspannungs-Arbeitspunktes werden durch den nachgeschalteten Differenzverstärker kompensiert, der nur relative Änderungen der Spannung U_{V1} zwischen dem Rücksetzwert am Eingang von V_2 und der aktuell anliegenden Spannung verstärkt. Der Verstärkungsfaktor wird dabei durch das im Halbleiter-Fertigungsprozess gut reproduzierbare Verhältnis der Kapazitäten C_1/C_2 festgelegt. Die Spannung U_{diff} am Aus-

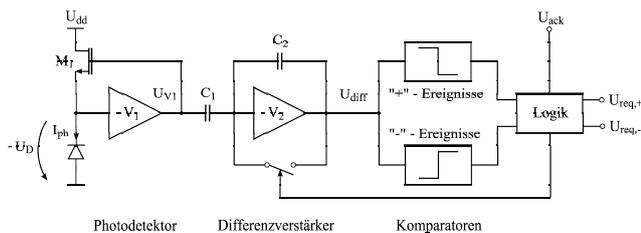


Bild 1 Prinzipbild einer Schaltung zur Detektion von temporären Helligkeitsänderungen nach [2]

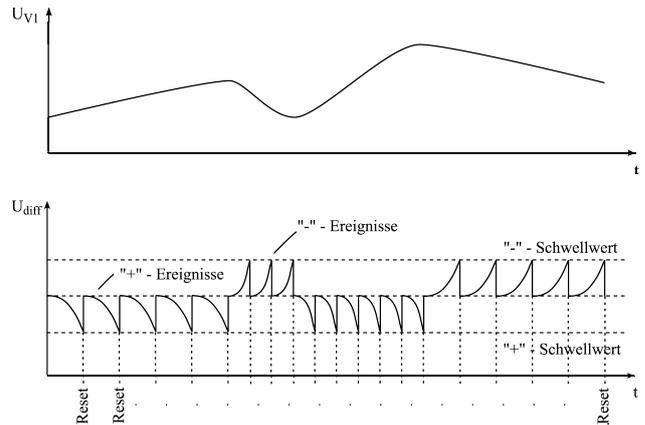


Bild 2 Spannungsverläufe für die Schaltung zur Detektion von temporären Helligkeitsänderungen nach [2]

gang des Differenzverstärkers ist demnach proportional zum Faktor C_1/C_2 sowie zur Änderung der Spannung U_{V1} . Da U_{V1} logarithmisch vom Photostrom abhängt, ist U_{diff} somit proportional zum Logarithmus der Differenz des Photostromes $\Delta I_{ph} = I_{ph2} - I_{ph1}$ vor und nach dem Rücksetzen von V_2 .

An den Differenzverstärker sind zwei Spannungskomparatoren mit variabel einstellbaren Schwellen angeschlossen. Über- bzw. unterschreitet die Spannung U_{diff} am Ausgang des Differenzverstärkers die an den Komparatoren eingestellten Vergleichswerte, was einer definierten Änderung der detektierten Bestrahlungsstärke entspricht, so wird dies entsprechend der Änderungsrichtung durch das jeweilige Komparatorausgangssignal ($+ -$ oder $- -$ -Ereignis) angezeigt. Abbildung 2 visualisiert die Signalverläufe für zu- und abnehmende Werte der Bestrahlung.

Mittels einer der Komparatoren nachgeschalteten Logik wird eine detektierte Änderung der Bestrahlungsstärke durch einen asynchronen und ereignisgesteuerten Datentransfer nach außen signalisiert. Dabei erfolgt die Übertragung der Adresse des entsprechenden Sensorelementes und der Polarität der Helligkeitsänderung mittels des sogenannten Address-Event-Protokolls [3]. Zusammen mit einer externen Quittierung des Signalempfanges wird dar-



Bild 3 Visualisierung der Daten des Änderungsdetektors

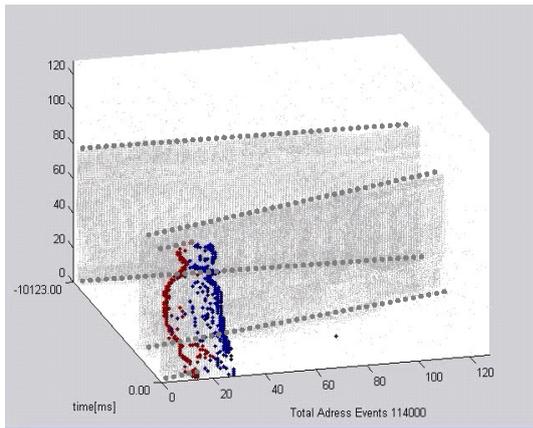


Bild 4 Raum-Zeit-Darstellung der Sensordaten

aufhin der Differenzverstärker im Sensorelement zurückgesetzt, womit das Pixel erneut bereit ist, Änderungen zu detektieren. Abbildung 3 zeigt eine zweidimensionale Visualisierung der Daten einer bewegten Szene. Schwarze und weiße Punkte symbolisieren dabei jeweils Ereignisse die eine Verringerung und Erhöhung der Bestrahlungsstärke am jeweiligen optischen Element darstellen. Abbildung 4 zeigt mit der Raum-Zeit-Darstellung eine andere Möglichkeit der Projektion der Sensordaten.

Da nur die bereits vom Sensor extrahierten temporären Änderungen des Szeneninhaltes an nachverarbeitende Systemkomponenten übermittelt werden und zeitlich redundante Daten, die üblicherweise einen Großteil des zu übertragenden Datenvolumens ausmachen, prinzipbedingt entfallen, reduziert sich der Aufwand in der nachgeschalteten Signalverarbeitung beträchtlich. Weiterhin bietet die effiziente Darstellung der Daten in Form von Ereignissen mit den Koordinaten des entsprechenden Sensorelementes Vorteile in der weiteren Prozessierung. Da der Änderungsdetektor nur Informationen über Veränderungen liefert, aber kein Grauwertbild, ist der Sensor darüber hinaus perfekt für Anwendungen mit speziellen Anforderungen bezüglich des Schutzes der Privatsphäre geeignet.

3 Anwendung

Im Rahmen des CARE-Projektes soll ein autarkes, selbstlernendes Monitoring-System für den Bereich des Ambient Assisted Living, dessen Datenerfassung auf der Basis von Stereotriangulation mittels eines Paares optischer Sensoren erfolgt, die auf dem vorgestellten Prinzip beruhen, entwickelt werden.

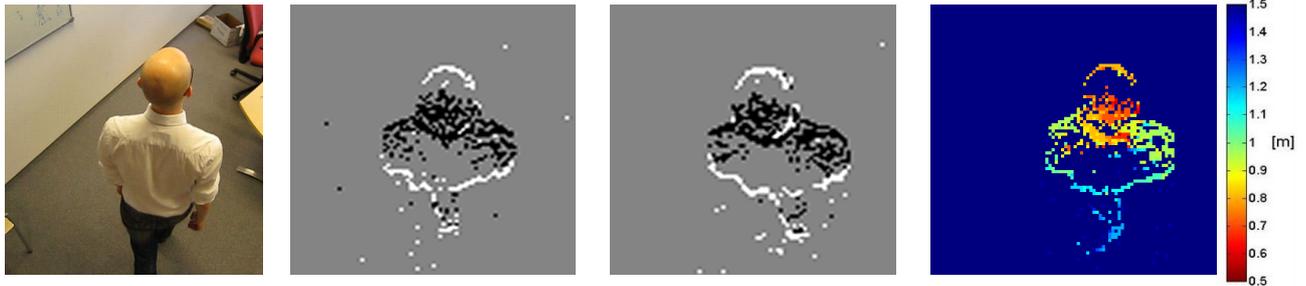


Bild 6 Darstellung einer Überwachungsszene mit linker und rechter Sensoraufnahme und dem resultierenden Höhenprofil (links)

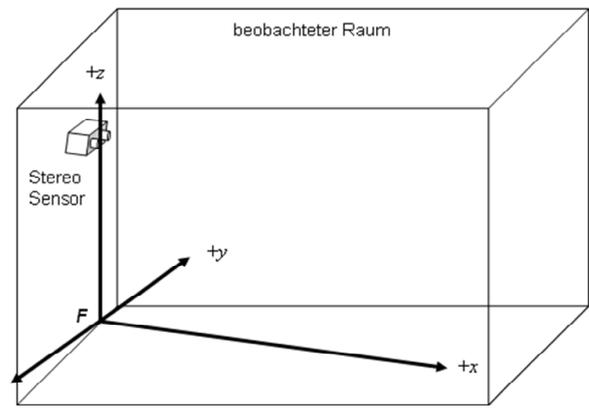


Bild 5 Anordnung des Systems zur Raumüberwachung

Die Gewinnung räumlicher Informationen einer Szene zur Entfernungsabschätzung ist gegenüber einer einfachen, zweidimensionalen Abbildung mit einem erheblichen Mehraufwand bezüglich der benötigten Rechenleistung verbunden, allerdings für die Funktionalität des zu entwickelnden Monitoring-Systems von essenzieller Bedeutung. Aufgrund der im vorhergehenden Abschnitt aufgeführten Vorteile des vorgestellten Sensorprinzips im Zusammenhang mit der Vorverarbeitung der Daten, kann unter Verwendung dieser optischen Aufnehmer, allerdings eine kosteneffiziente Lösung mittels eines eingebetteten Stereo-Systems realisiert werden. Abbildung 5 zeigt die prinzipielle Anordnung des Systems zur Überwachung eines Raumes im Rahmen der Anwendung im Bereich des Ambient Assisted Living.

Die erfolgreiche Verwendung eines Stereo-Systems erfordert, unabhängig von der Beschaffenheit der zu verarbeitenden Daten, die Behandlung der drei Problembereiche Kalibrierung, Korrespondenzfindung und Rekonstruktion, wobei die Korrespondenzfindung, unter der man die Suche aller Punkte in den einzelnen Aufnahmen, die Abbildungen des selben Punktes im Raum sind, versteht, ausschlaggebend für die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems ist. Die Verfahren der Korrespondenzfindung können dabei grob in flächen- und merkmalsbasierte Methoden unterteilt werden.

Im Unterschied zur herkömmlichen Bildverarbeitung, die auf einer sequenziellen Verarbeitung von Einzelbildern basiert, werden die verwendeten Algorithmen direkt auf den Datenstrom von Ereignissen angewandt [4]. Der Strom von Ereignissen kann dabei als eine Abfolge zeitlicher Im-



Bild 7 Zeitliche Sequenz des Entfernungsprofils einer sich der Stereo-System nähernden Person

pulse modelliert werden, wobei einzelne Ereignisse zu beliebigen Zeitpunkten auftreten können. Für jedes detektierte Ereignis wird dabei die Information über den Zeitpunkt der Entstehung sowie die zugehörige kartesische Position des aktiven Pixels im Sensorfeld und die dazugehörige Polarität der Helligkeitsänderung gespeichert.

Die eigentliche Korrespondenzfindung lässt sich damit als eine Optimierungsaufgabe beschreiben, d.h. als Suche des Maximums eines vorgegebenen Ähnlichkeitsmaßes zwischen zwei Ereignis-Nachbarschaften (flächenbasierte Methoden) oder zwischen zwei Merkmalen aus der Abbildung des linken bzw. rechten Sensors (merkmalsbasierte Methoden). Dabei werden nur die Ereignisse betrachtet, die innerhalb eines Zeitfensters einer bestimmten Länge eintreffen. Wie bei den meisten konventionellen Verfahren zur Generierung von dreidimensionalen Abbildungen, werden als Ähnlichkeitsmaße Methoden wie Kreuzkorrelation, Summe der quadrierten Differenzen und Summe der absoluten Differenzen angewandt. Darüber hinaus können auch nicht-parametrische Transformationen wie beispielsweise Rank- oder Cenzus-Transformation [5] zur Korrespondenzfindung herangezogen werden.

In Abbildung 6 und 7 werden zwei konkrete Beispiele von Stereo-Berechnungen gezeigt. In Abbildung 6 sind dabei die beobachtete Szene, die von beiden Sensoren aufgenommenen Daten und das berechnete Höhenprofil dargestellt. Abbildung 7 zeigt die zeitliche Abfolge des ermittelten Entfernungsprofils einer sich dem Stereo-System nähernden Person. Alle Entfernungsprofile sind farbkodiert, wobei durch rote Punkte geringere Abstände symbolisiert werden und blaue Markierungen auf größere Entfernungen hinweisen.

4 Zusammenfassung

Diese Publikation erläutert ein neuartiges, biologisch inspiriertes, optisches Sensorprinzip zur Detektion von temporären Änderungen der Bestrahlungsstärke und die Verwendung darauf basierender Aufnehmer zur Realisierung von stereoskopisch arbeitenden Sensorsystemen für die

Entfernungsbestimmung bewegter Objekte. Aufgrund der bereits im Sensor vorgenommenen Extraktion der für die Anwendung relevanten Informationen, kann das Gesamtsystem kostengünstig, als eingebettete Signalverarbeitungslösung mit geringen Anforderungen an die notwendige Rechenleistung, realisiert werden. Die Daten des Änderungsdetektors bezüglich der Bewegung von Objekten im Raum, in Kombination mit den entsprechenden Entfernungsinformationen der Stereo-Systems, sollen im Rahmen des CARE-Projektes zum Erkennen kritischer Situationen im Umfeld älterer Menschen genutzt werden.

Da durch die Sensoren nur Informationen über zeitliche Veränderungen geliefert werden, daraus jedoch keine Rekonstruktion eines Bildes möglich ist, eignen sich der Sensor und darauf aufbauende Systeme perfekt für Anwendungen mit speziellen Anforderungen bezüglich des Schutzes der Privatsphäre.

5 Literatur

- [1] <http://www.care-aal.eu>
- [2] Lichtsteiner, P.; Posch, C.; Delbruck, T.: A 128×128 120 dB 15 μ s Latency Asynchronous Temporal Contrast Vision Sensor, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.43, No.2, S. 566-576, 2008
- [3] Boahen, K.: A Burst-mode Word-serial Address-event Link - I Transmitter Design, IEEE Transactions on Circuits and Systems I, Vol. 51, S. 1269-1280, 2004
- [4] Milosevic, N.; Schraml, S.; Schön, P.: Smartcam for Real-time Stereo Vision, Proc. of International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), 2007
- [5] Zabih, R.; Woodfill, J.: Non-parametric Local Transforms for Computing Visual Correspondence, Proc. of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 1994