

FlexiCount: Eine flexible Personenzählmatte für den mobilen Indoor und Outdoor Einsatz

Martin Horauer, Markus Ray, Andreas Augustin und Gregor Novak

(DI Dr. Martin Horauer, FH Technikum Wien, Höchstädtplatz 5, A-1200 Wien, horauer@technikum-wien.at)

(DI (FH) Markus Ray, Austrian Institute of Technology, Giefinggasse 2, A-1210 Wien, Markus.Ray@ait.ac.at)

(Ing. Andreas Augustin, Getzner Werkstoffe GmbH, Herrenau 5, A-6706 Bürs, Andreas.Augustin@getzner.com)

(DI Dr. Gregor Novak MSc, Bluetechnix GmbH, Waidhausenstr. 3/19, A-1140 Wien, gregor.novak@bluetechnix.com)

1 KURZFASSUNG

Umfangreiche qualitativ hochwertige Realdaten über das Personenaufkommen werden in der Raum- und Verkehrsplanung zur Optimierung von Infrastrukturen benötigt. Das Projekt FlexiCount schafft notwendige Grundlagen für eine modulare und energieautarke Personenzählmatte. Damit werden mittelfristig die Anforderungen des Markts an eine flexible Datenerhebung mit hoher Qualität und geringen Installations- und Wartungskosten erfüllt.

2 EINLEITUNG

Verkehrszählungen im motorisierten Verkehr sind mittlerweile fester Bestandteil von Verkehrs- und Raumplanungsmodellen und bilden eine unerlässliche Datengrundlage, zum Beispiel für die Optimierung der Straßeninfrastruktur. Aufgrund der unzureichenden Genauigkeit bei hohem Verkehrsaufkommen wurden manuelle Verkehrszählungen in den letzten Jahren von Zählungen mithilfe technischer Systeme abgelöst. Für die Zählung von PKWs und LKWs werden demnach Dauerzählstellen mittels so genannter Induktions-schleifen bzw. mobile Zählleinrichtungen mittels Laser und Videotechnik verwendet.

Im Bereich des nicht-motorisierten Verkehrs wird das Personenaufkommen von Infrastrukturbetreibern von Bahnhöfen, Flughäfen oder Einkaufsstraßen erfasst. Die hierbei erhobenen Daten bilden eine essentielle Datengrundlage zur Optimierung von Fahrplänen, für das Ressourcenmanagement, für bauliche Planungen und für die Optimierung von Verkehrsleitsystemen und somit indirekt zur Attraktivitätssteigerung des nicht-motorisierten Verkehrs. Im Vergleich zu Zählungen im motorisierten Individualverkehr werden hier die Anforderungen an die Personenzählung weder von automatisierten noch von händischen Lösungen in der erforderlichen Qualität abgedeckt.

2.1 Motivation

Für die Ermittlung des Personenaufkommens wird derzeit häufig auf händische Zählungen zurückgegriffen. Diese sind jedoch insbesondere bei hohem Personenaufkommen – aufgrund des eingeschränkten menschlichen Wahrnehmungsvermögens – sehr ungenau. Weiters kann so nur mit erheblichem Aufwand und Kosten eine signifikante Datenmenge erhoben werden, wodurch ein großer Bedarf an automatisierten Lösungen existiert. Für die automatisierte Personenzählung gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Technologien und Produkte. Trotzdem kommen diese nur selten zum Einsatz. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass keines der angebotenen Systeme alle gestellten Anforderungen erfüllt:

- **Kosten:** Viele Zählsysteme (bspw. mit Lasertechnologie) verursachen hohe Investitionskosten, benötigen mitunter teure Software zur Auswertung, und bereiten einen erheblichen Installationsaufwand (z.B. Strom- und Datenanbindung) vor Ort.
- **Flexibilität:** Vorgegebene Installationshöhen (meist ein kleiner Bereich) bestimmen bei vielen Verfahren die mögliche Zählbreite, welche oft zu schmal ausfällt. Desweiteren werden in der Regel separate Installationen für die Stromversorgung und die Datenanbindung benötigt.
- **Qualität:** In Stoßzeiten kommt es in Ballungsbereichen zu einem hohen Personenaufkommen. In derartigen Fällen leidet bei allen Systemen die Genauigkeit der Zählung; Auswirkungen von hohen Personendichten auf den Messfehler sind in der Regel nicht bekannt, wodurch die Qualität der Erhebung nicht abschätzbar ist.
- **Umgebungsbedingungen:** Einige Sensorsysteme haben Probleme mit schnellen Temperaturschwankungen und/oder variierenden Lichtbedingungen – typ. Bedingungen eines Eingangsbereichs – und liefern in derartigen Situationen oftmals falsche Daten. Ebenso sind nur wenige Lösungen für einen Einsatz im Außenbereich geeignet.

- **Mobilität:** Für die temporäre Erhebung des Personenaufkommens für wenige Tage bis Wochen (z.B. Optimierung einer Fußgängerampel) ist ein autonomes und energieautarkes System gefordert. Derzeit eignen sich die angebotenen Systeme (z.B.: aktiver Infrarotzähler) nur für die Zählung von einzelnen Personen.

Eine Kombination mehrerer Sensordaten (Sensorfusion) zur Zählung trägt zu einer Linderung dieser Probleme bei; dies erhöht jedoch zumeist die Systemkomplexität und die Kosten, siehe [WH09].

Im Projekt FlexiCount werden die Grundlagen für eine neue Technologie erarbeitet werden, die die Anforderungen des Markts (insbesondere die umfangreichen Anforderungen der Anwender im Verkehrsbereich) berücksichtigt, um mittelfristig sowohl eine erhöhte Datenverfügbarkeit als auch Datenqualität beim automatisierten Erfassen des Personenaufkommens unter den zuvor angeführten Rahmenbedingungen zu erreichen.

3 AKTUELLER STAND DER TECHNIK

Ein aktuellen Überblick über Vor- und Nachteile sowie Evaluierungen verschiedener Zähltechnologien für Fußgänger wurde in einer Studie der University of California, Berkeley erstellt [B+07, G+08]. Die folgende Liste zeigt den Stand der Technik einiger, automatischer Personenzähltechnologien:

Aktiver Infrarotzähler:

- (+) Geringe Kosten, geringer Energieverbrauch, einfache Installation, portabel
- (-) Keine Differenzierung zwischen Fußgängern und anderen Objekten (z.B. Regentropfen), mehrere Fußgänger werden beim Queren des Zählstrahls als ein Objekt gezählt

Passiver Infrarotzähler (Wärmebild) [H06, LH08]:

- (+) Geringe Kosten, geringer Energieverbrauch, keine Beeinträchtigung durch nasses und nebeliges Wetter, keine datenschutzrechtlichen Bedenken (Vergleich zu video-basierten Lösungen)
- (-) Dichte Szenen limitieren die Zählgenauigkeit stark, Top-View Montage limitiert die Zählbreite, Temperatur kann die Zählgenauigkeit beeinflussen

Laserscanner [ZS05, HS05, F05]:

- (+) Zählgenauigkeit höher als bei alternativen Systemen (auch bei dichten Szenen), kann Fußgänger separieren, einfaches Setup, Abdeckung großer Bereiche
- (-) Teuer, Zählperformance durch verschiedene Witterungsbedingungen beeinträchtigt, große und schwere Bauweise

Maschinelles Sehen in Bilddaten [RB06, TS07]:

- (+) Abdeckung großer Bereiche, Potential zur genauen Zählung für Personengruppen unter verschiedenen Lichtbedingungen (stereo-based), Aufgezeichnete Videodaten können für Sammlung von Fußgängercharakteristika betrachtet werden, einfache Installation und einfaches Setup, Aufgezeichnete Videodaten können mehrmals manuell ausgewertet werden.
- (-) Die meisten kommerziell erhältlichen Produkte sind für den Innenbereich konzipiert, Die Zählung in dichten Menschenmengen ist noch nicht gelöst, die Performance wird durch unterschiedliche Umweltbedingungen beeinträchtigt, oft datenschutzrechtliche Bedenken

Akustischer Plattensensor (EcoCounter):

- (+) Outdoor-fähig, 10 Jahre energieautarker Betrieb, Installation nicht sichtbar
- (-) Nur für den unterirdischen Einsatz (Aufwendige Installation), je Plattensensor nur eine Person, bidirektionale Zählung nur durch Mehrfachverlegung, geringe Zählgenauigkeit

Trotz des Vorhandenseins zahlreicher automatischer Ansätze und Lösungen wird manchmal immer noch auf händische Zählungen mittels „tally counter“ gesetzt, siehe [D+07, G+08]. Vor- und Nachteile der händischen Zählung:

- (+) Kostengünstig für kleine Stichproben, Bei einfachen Szenen nahezu 100%ige Genauigkeit, Keine besondere Hardware erforderlich

- (-) Genauigkeit abhängig von der beobachtenden Person (75-92%), nur bei geringem Personenaufkommen einsetzbar, bidirektionale Zählung vermindert die Genauigkeit stark, nur zeitlich begrenzte Erfassung möglich (wenige Stunden)

Zahlreiche internationale Anstrengungen zur Verbesserung der bestehenden Technologien haben in den letzten Jahren nur marginale Erfolge in einzelnen Bereichen erzielt. Anstrengungen zur Erhöhung der Flexibilität hinsichtlich der Zählbreite und der Mobilität wurden nur selten unternommen. FlexiCount verfolgt daher die innovative Technologie einer flexiblen und mobilen Personenzählmatte, um mittelfristig die Anforderungen an Personenzählungen im Verkehrsbereich zu erfüllen.

Im Kontext Personenzählung mit Matten gibt es international zwei erwähnenswerte Projekte/Produkte. (i) An der Schweizer Hochschule für Technik in Rapperswill wird in einem Studierendenprojekt eine „Zählmatte für das Besuchermonitoring“ entwickelt. Diese Entwicklung basiert auf den Erfahrungen der „akustischen Platte“ der Firma ecocounter (<http://www.eco-compteur.com>) beim Einsatz im Schweizer Nationalpark. Diese Matten werden jedoch im Boden vergraben und sind vom System her weder mobil noch modular verwendbar. (ii) Die Firma Future Shape (<http://www.future-shape.com>) vertreibt das Produkt SensFloor. Dieser Belag, wenn unter einem herkömmlichen Bodenbelag verlegt, detektiert über Veränderungen des magnetischen Feldes ob eine Person auf dem Bodensegment steht oder nicht. Dieses System eignet sich jedoch nur sehr eingeschränkt zur Personenzählung; es ist auch in erster Linie für den Einsatz im Bereich „Ambient Assistive Living“ bspw. im Bereich von Altersheimen entwickelt worden.

4 FLEXIBLE UND MOBILE PERSONENZÄHLMATTE

Vor allem in Verkehrsinfrastrukturen des öffentlichen Verkehrs wird eine flexible und mobile Lösung zur temporären und qualitativ hochwertigen Erfassung des Personenaufkommens benötigt. Über einen Zeitraum von einigen Tagen bis wenige Wochen soll es auf einfache und kostengünstige Weise möglich sein, das Personenaufkommen abzuschätzen, ohne hohe Installations- und Wartungskosten in Kauf zu nehmen. Die Technologie soll flexibel hinsichtlich der Zählbreite und robust gegenüber äußeren Umgebungseinflüssen sein.

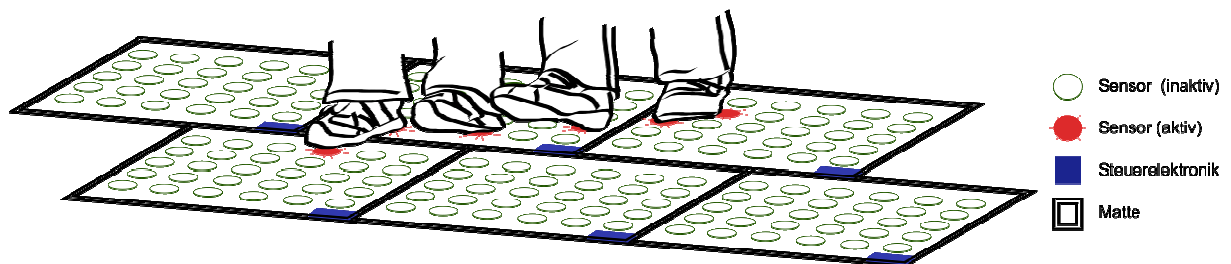


Abbildung 1: Mehrere FlexiCount Matten im Einsatz

Im Projekt FlexiCount wird eine Matte mit integrierter Sensorik entwickelt, die das Überqueren von Personen registriert und die erfassten Sensorwerte (z.B. ein Druckprofil) über ein drahtloses Sensornetzwerk an einen Auswerterechner überträgt. Mehrere dieser autarken Matten (vgl. Abbildung 1) sollen einfach – ähnlich einer Teppichfliese – nebeneinander verlegt werden können und bieten so die Möglichkeit einer flexiblen Adaptierung an unterschiedliche räumliche Gegebenheiten. Da die Matten autark ausgeführt sind bedürfen sie weder einer Verdrahtung untereinander noch irgendeiner separaten Installation.

Das mittelfristige Ziel von FlexiCount ist die Entwicklung einer Personenzählmatte mit folgenden Eigenschaften:

- Integrierte Sensoren zur Erfassung der Personenbewegung bei Übertritt der Zählmatte
- Hohe Mobilität (geringes Gewicht und einfacher Transport)
- Einfache Anpassung an die Zählbreite (mod. Aufbau mit bspw. 50x50cm Elementen)
- Zeitlich referenzierte bidirektionale Zählung
- Autarker Betrieb über mehrere Tage bzw. wenige Wochen (Ultra Low-Power Betrieb)
- Geringe Installations- und Wartungskosten (hinlegen, einschalten und zählen)
- Echtzeitdatenübertragung durch drahtlose Kommunikation

- Gute Zählgenauigkeit auch bei hohem Personenaufkommen (Abweichung bekannt)
- Für den Innen- und Außenbereich geeignet
- Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Merkmale (Rutschfest, geringe Mattenhöhe, Abflachung an den Kanten, Leuchtmarkierung, ...)

Im Projekt werden die Grundlagen für eine Machbarkeit eines solchen Systems erarbeitet und evaluiert. Dahingehend behandelt das Projekt detailliert Forschungsfragen zur Elektronik, zur Polymer-Integration und zum mathematischen Modell. Eine Minimalintegration der Technologie wird im Rahmen des Projekts prototypisch durchgeführt, um Trainings- und Validierungsdaten unter Realbedingungen zu erheben, und somit zu untersuchen, ob ein valides mathematisches Modell zur Personenzählung entwickelt werden kann.

5 FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE FLEXICOUNT

Die Forschungsgebiete im Projekt FlexiCount zerfallen in die drei Gebiete Elektronik, Polymer-Integration und mathematische Modellierung.

5.1 Forschungsschwerpunkt Elektronik

Die einzelnen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Bereich der Elektronik sind:

- (a) Auswahl und/oder (b) Entwicklung geeigneter Sensorik
- Ultra-Low Power Design ev. unter Einbeziehung von Energy Scavenging [R+03, G+05]
- Signalaufbereitung und -verarbeitung
- Realisierung eines „plug & play“-fähigen Wireless Networks
- Möglichkeit zur Kalibration der verbauten Messschaltung
- Miniaturisierter Aufbau der Elektronik für eine Integration in eine Matte
- Verwindungsfähiger, robuster Aufbau der Elektronik (Flexible Leiterplattentechnik)
- EMV robustes Design inkl. automatischer „Restart“-Funktionalität bei massiver Störung

Aus derzeitiger Sicht bergen insbesondere die Punkte (1b) und (2) ein hohes Innovations- und Forschungspotential; entsprechende Fortschritte in diesen Gebieten können auch langfristig in anderen Bereichen als „enabling Technology“ wirksam werden.

Im Punkt (1) wird dementsprechend untersucht, welche Sensoren (Druck, Kapazitiv, Induktiv, etc.) bzw. Kombinationen von Sensoren für die eindeutige Registrierung von Personen am geeignetsten sind, siehe bspw. [BP07, S+08]. Dies stellt insofern eine sehr herausfordernde Aufgabe dar, da die zu erfassenden Merkmale (großes, kleines Gewicht, unterschiedliche Schuhprofile, etc.) stark variieren und der Fehler der Detektion möglichst gering gehalten werden soll.

Im Punkt (2) soll untersucht werden, inwieweit aus Druck, Vibrationen und der Umgebungstemperatur Energie rückgeführt werden kann um die Elektronik (zumindest teilweise) zu versorgen, bzw. welche Möglichkeiten es gibt Akkus zu laden ohne dieselben aus der Matte entfernen zu müssen, siehe bspw. [PS05, RW03].

Die Punkte (3) bis (8) bergen darüber hinaus fordernde technische Aufgaben, die bewältigt werden müssen. Bspw. ist die Realisierung eines „plug & play“ fähigen, robusten drahtlosen Sensornetzwerks eine fordernde Aufgabe, da mitunter mit massiven Störungen aus der Umgebung zu rechnen ist.

5.2 Forschungsschwerpunkt Polymer-Integration

Die Herausforderung bei der Integration einer sensiblen Elektronik in einen Elastomer ist vor allem die geeignete Materialauswahl welche allen Anforderungen des Einsatzes gerecht werden muss, sowie die Integrationsmethodik.

Bei der Materialauswahl ist auf folgende zwei Punkte das Hauptaugenmerk zu legen:

- des Materials gegenüber Umwelteinflüssen wie breiten Temperaturbereichen, UV- und Ozonwirkung auf das Material im Außenbereich, Feuchtigkeit, ...

- Design der Polymermatrix, um den Themen Druckverteilung, Lastabtragung, Einstellen definierter Steifigkeit (Kraft/Verformungszusammenhang) gerecht zu werden.
- Auswahl der Integrationsmethodik:
- Verfahren zur Integration der Sensorik in die Elastomermatrix, hierbei können mehrere Verarbeitungsmethoden angewandt bzw. weiterentwickelt werden. Die Palette reicht von Verkleben mittels Spezialklebern bis zur Sprühtechnologie bzw. dem Umschäumen des Sensors mittels flüssiger PUR-Komponenten (dimensionsabhängig).

Ziel ist es, die Elektronik in einen Spezial-Elastomer, welcher den spezifizierten Anforderungen Rechnung trägt, zu integrieren. Dabei ist die Steifigkeitsmatrix des Elastomerwerkstoffs so zu entwickeln, dass die Krafteinleitung, z.B hervorgerufen durch Personen unterschiedlichen Gewichts so an den Sensor übertragen bzw. verteilt wird, dass die Sensorik eindeutige Verformungen detektieren bzw. Signale generieren kann (Umwandlung Last/Kraft in eine für den Sensor verarbeitbare Verformung). Weiters gilt es, die Integration der Sensorik in den Spezial-Elastomer sicherzustellen, welche auf unterschiedliche Art und Weise (mehrere Fertigungstechnologien denkbar) erfolgen kann. Dabei ist auf die Rahmenbedingungen der Integration wie z.B. max. Temperatur, Druckverhältnisse während des Fügens bzw. der Verträglichkeit der unterschiedlichen Komponenten (Klebstoff, Sensorik) zu achten.

5.3 Forschungsschwerpunkt Mathematische-Modellierung

Bei der Personenzählung mit der mobilen modularen Personenzählmatte müssen zwei unterschiedliche Probleme gelöst werden:

- Eindeutige Extraktion der Anzahl der Fußabdrücke sowie der Gehrichtung aus den Sensordaten.
- Abschätzung wie viele Personen tatsächlich über die Matte gegangen sind und welche Genauigkeit für diese Abschätzung unter Einfluss von verschiedenen Personendichten und Umwelteinflüssen zu erwarten ist.

Bei einer Fußmatte mit hoher Sensordichte hat das erste Problem große Ähnlichkeit mit Objekterkennung und Verfolgung sowie Szenarienerkennung in Videos, da ein Fußabdruck auf der Sensormatte eine sich zeitlich verändernde Form ist (siehe [LL04] und [L+07]). Dabei unterscheiden sich Fußabdrücke in ihrer Form und Größe und müssen effizient von anderen Abdrücken wie Kinderwagen, Krücken, Hunden oder ähnlichem unterschieden werden können. Zusätzliche Probleme können sich aus den Eigenschaften der Matte ergeben, wenn z.B. bei hohen Dichten nahe beieinander liegende Fußabdrücke nicht mehr genügend separiert sind, um mit einfachen Methoden als mehrere Objekte erkannt zu werden. Das Problem entspricht also einer Erkennung sich zeitlich verändernder, dreidimensionaler Objekte, wobei die ersten zwei Komponenten die räumliche Ausdehnung der Abdrücke sind und die dritte die Intensität der einzelnen Sensorenmessungen. Mögliche Ansätze zum Lösen dieser Problematik sind bspw. die Verwendung neuronaler Netzwerke oder die Verwendung von Support Vector Machines [B07].

Im zweiten Teil der Modellierung geht es darum, unter verschiedenen Voraussetzungen möglichst genau die Anzahl der Personen zu ermitteln, die über die Fußmatte gehen. Dabei sind mehrere Herausforderungen zu berücksichtigen:

- Bei hohen Dichten wird es schwerer, Fußabdrücke zu erkennen.
- Verschiedene Witterungseinflüsse wie geringe Temperaturen und Nässe verändern die physikalischen Eigenschaften der Matte und können so zu Messfehlern und Ungenauigkeiten bei der Abdruckererkennung führen.
- Die Größe der Matte garantiert zwar, dass jeder Fußgänger mindestens einmal auf der Matte auftritt, allerdings kann es aufgrund unterschiedlicher Schrittlängen und Gehgeschwindigkeiten auch zu mehreren Fußabdrücken pro Person kommen.

Statistische Modelle für Zähldaten sollen als Grundlage für die Personenzählung herangezogen werden und mit nicht-parametrischen Ansätzen verglichen werden. Es existiert bereits eine breite Grundlage solcher Zählmodelle [W08], welche Möglichkeiten bieten die zu erwartenden, nichtlinearen Einflüsse zu modellieren [CT07]. Reale Zählungen bei verschiedensten Umweltbedingungen und Fußgängerdichten sollen zur Schätzung der Modelle und der Parameter der zugrundeliegenden Zufallsverteilungen herangezogen werden.

Wichtige Werte über die zu erwartenden Genauigkeiten solcher Modelle sowie der Einfluss und die Signifikanz verschiedener Einflussfaktoren auf die Genauigkeit der Ergebnisse können so gewonnen werden [J+06].

6 ZUSAMMENFASSUNG

FlexiCount adressiert die Grundlagen für eine modulare und energieautarke Sensormatte zur automatisierten Erfassung des Personenaufkommens. Um die gestellten Anforderungen des Markts an temporäre Personenzähl-einrichtungen zu erfüllen, werden in einem interdisziplinären Ansatz forschungsintensive Fragen zur Elektronik, zur Polymer-Integration und zur mathematischen Modellierung behandelt. Eine Minimalintegration der Technologie wird im Rahmen des Projekts prototypisch durchgeführt, um Trainings- und Validierungsdaten unter Realbedingungen zu erheben.

7 LITERATUR

- [B07] Bishop C.: "Pattern Recognition and Machine Learning", Springer-Verlag New York, 2007.
- [BP07] Bracke W., Puers R., Van Hoof Ch.: "Ultra Low Power Capacitive Sensor Interfaces", Springer 2007, ISBN: 1402062311.
- [B+07] Bu F., Greene-Roesel R., Diogenes M.C., Ragland D.R.: "Estimating Pedestrian Accident Exposure: Automated Pedestrian Counting Devices Report" Technical Report UCB-TSC-RR-2007-7, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, März 2007.
- [CT07] Carvalho A., Tanner M.: "Modelling nonlinear count time series with local mixtures of Poisson autoregressions Source", Computational Statistics & Data Analysis archive, 51 (11), pp 5266-5294, 2007.
- [D+07] Diogenes M., Greene-Roesel R., Arnold L., Ragland D.: "Pedestrian counting methods at intersections: A comparative study", Transportation Research Record, 2002, 26–30, 2007.
- [F05] Falk S.: „Personenzähl-einrichtungen für Versammlungsstätten“, Diplomarbeit, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (in German), 2005.
- [G+05] Guyomar D., Badel A., Lefeuvre E., Richard C.: "Toward energy harvesting using active materials and conversion improvement by nonlinear processing", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, Vol. 52, Iss. 4, pp. 584-595, 2005.
- [Gr05] Griffith A.: "Automatic pedestrian counting trial", Central London Partnership, Stage 3, Final Report, 2005.
- [G+08] Greene-Roesel R., Diogenes M., Ragland D., Lindau L.: „Effectiveness of a commercially available automated pedestrian counting device in urban environments: Comparison with manual counts“, Proceedings of the TRB 2008 Annual Meeting.
- [H+98] Hashimoto K., Kawaguchi Ch., Matsueda S., Morinaka K., Yoshiike N.: "People-counting system using multisensing application", Sensors and Actuators A: Physical, Volume 66, Issues 1-3, pp. 50—55, April 1998.
- [HS05] Huijing Z., Shibasaki R.: „A novel system for tracking pedestrians using multiple single-row laser-range scanners“, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 35, Iss. 2, pp.283-291, 2005.
- [H06] Hao Q., et al: "Human tracking with wireless distributed pyroelectric sensors", IEEE Sensors Journal, vol. 6, no. 6, pp. 1683-1694, Dec. 2006.
- [J+06] Jung R., Kukuk M., Liesenfeld R.: "Time series of count data: modeling, estimation and diagnostics", Computational Statistics & Data Analysis, 51 (4), pp 2350-2364, 2006.
- [LL04] Laptev I., Lindeberg T.: "Local Descriptors for Spatio-temporal Recognition", Proceedings of the SCVMA04, pp 91-103, 2004.
- [L+07] Laptev I., Caputo B., Schlüdt, C., Lindeberg, T.: "Local velocity-adapted motion events for spatio-temporal recognition", Computer Vision and Image Understanding, 108 (3), pp 207-229.
- [LH08] Li, N., Hao Q.: "Multiple walker recognition with wireless distributed pyroelectric sensors", Proc. of SPIE Defense and Security, March 2008, pp. 694034(1-12).
- [PS05] Paradiso J.A., Starner T.: "Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics", IEEE Pervasive Computing, vol. 4, no. 1, pp. 18-27, Jan.-Mar. 2005.
- [RW03] Roundy S., Wright P.K., Rabaey J.M.: "Energy Scavenging for Wireless Sensor Networks", Springer 2003, ISBN: 1402076630.
- [R+03] Rahimi M., Shah H., Sukhatme G.S., Heideman J., Estrin D.: „Studying the feasibility of energy harvesting in a mobile sensor network“, IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 19-24, 2003.
- [RB06] Rabaud V., Belongie, S.: "Counting Crowded Moving Objects", Proc. Of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 705-711, 2006.
- [SP00] Schwartz W., Porter C.: "Bicycle and Pedestrian Data: Sources, Need, & Gaps" U.S. Department of Transportation Bureau of Transportation Statistics. BTS00-02, Washington, DC, 2000.
- [S+08] Sekitani T., Noguchi Y., Hata K., Fukushima T., Aida T., Someya T.: "A Rubberlike Stretchable Active Matrix Using Elastic Conductors", Science Express, Vol. 321. no. 5895, pp. 1468 - 1472, 2008.
- [TS07] Teixeira, T., Savvides, A.: „Lightweight People Counting and Localizing in Indoor Spaces Using Camera Sensor Nodes“, ACM/IEEE Int. Conference on Distributed Smart Cameras, pp. 36-43, Vienna, 2007.
- [W08] Winkelmann R.: "Econometric Analysis of Count Data", Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [WH09] Weingand R., Hehring T.: „Tipps zur Planung eines Personenzähl-systems“, Artikel im POS Manager: Fachmagazin für IT-Lösungen und -Management im Einzelhandel, Ausgabe 1/2009.
- [ZS05] Zhao H., Shibasaki R.: "A Real-Time System for Monitoring Pedestrians", 7th IEEE Workshop on Application of Computer Vision (WACV/MOTION'05), vol. 1, pp.378-385, 2005.