

Detektion von Fahrzeugen in Videosequenzen von luftgetragenen thermischen Kameras

Uwe Stilla, Eckart Michaelsen
Ettlingen

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird eine Methode zur Bewertung der Fahrzeugaktivität in dichten urbanen Gebieten beschrieben, die auf der Auswertung von Bildsequenzen luftgetragener Infrarotkameras basiert. Bei einer Auflösung von ungefähr einem Meter erscheinen Fahrzeuge als längliche Flecken. Sie werden durch einen Spot-Detektor extrahiert. In urbanen Gebieten haben viele andere Objekte die gleiche Eigenschaft. Zur Unterscheidung der Fahrzeuge von anderen Objekten werden Informationen über Straßen aus digitalen Karten und IR-Bildern fusioniert. Weiterhin wird Kontextwissen durch eine Gruppierung von Fahrzeugen in Reihen entlang der Straßenränder ausgewertet. Die verwendeten generischen Produktionen zur Gruppierung werden wiederum durch die Verwendung von Karten gestützt. Hinweise von überlappenden Bereichen der Bilder der IR-Sequenz werden in der Szene akkumuliert.

Abstract

In this contribution we describe a method to assess the activity of vehicles in dense build-up areas. The analysis is based on airborne image sequences from an infrared camera. At the resolution of approximately one meter vehicles appear as elongated spots. They are extracted by a spot detector. In urban areas many additional other objects have the same property. To discriminate vehicles from these objects we fuse information about streets from digital maps and IR-images. Additionally, context knowledge is exploited by grouping of vehicles into rows along the margins of the roads. The generic productions for grouping are supported by using map knowledge as context again. Evidence from overlapping areas of frames of the IR-sequence is accumulated in the scene.

1. Einleitung

Im städtischen Bereich gibt es eine Vielzahl von Verkehrsteilnehmern, wie z.B. PKWs, LKWs, Busse, Straßenbahnen, S-Bahnen, Radfahrer oder Fußgänger. Bei der Überwachung, Planung und Steuerung des Verkehrs kommt der Erfassung der aktuellen Verkehrssituation eine zentrale Bedeutung zu. Die Erfassung von Fahrzeugen durch stationäre induktive Einrichtungen oder optische Systeme (Videokameras) ermöglicht eine lokale Bewertung der Verkehrssituation. Die automatische Auswertung von Videosequenzen zur Verfolgung bewegter Fahrzeuge und Analyse komplexer Verkehrsszenen ist schon seit längerer Zeit Gegenstand der Forschung, siehe z.B. [1], [2], [3]. Luftgetragene Kamerasysteme haben gegenüber stationären Einrichtungen den Vorteil, dass eine flächendeckende bzw. streckende Beurteilung der Verkehrssituation möglich ist. Weiterhin können detaillierte Aussagen über Fahrzeugmengen in beliebigen Stadtteilen oder Straßen durch Überfliegen getroffen werden.

Die Aktivität von Fahrzeugen, d.h. ihr Betriebszustand, kann nicht alleine durch ihre Bewegung beschrieben werden. Aktive Fahrzeuge lassen sich in bewegte und unbewegte Fahrzeuge einteilen. Unbewegte Fahrzeuge können aktiv sein, wenn sie z.B. vor einer Ampel warten oder in einem Stau stehen. Diese Situation ist typisch für die Hauptverkehrszeiten in Großstädten. Ebenso kann es für eine Verkehrsplanung hilfreich sein, Fahrzeuge zu unterscheiden, die nur für eine kurze Zeit halten, z.B. zum Ein- und Ausladen, im drive-through Service oder zum kurzen Einkauf - von solchen Fahrzeugen, die für Stunden oder Tage geparkt sind. Ein wichtiges Merkmal zur Unterscheidung des Betriebszustandes stellt die Temperatur dar. Die Temperatur von Objekten kann mit Infrarot(IR)-Sensoren aufgenommen werden [4].

Bei einer Auflösung von ungefähr einem Meter erscheinen Fahrzeuge als längliche Flecken in IR-Bildern. In urbanen Gebieten haben viele andere Objekte die gleiche Eigenschaft. Zur Auflösung von Mehrdeutigkeiten versucht man in wissensbasierten Ansätzen zur Bildanalyse häufig Kontext zwischen Objekten auszuwerten. Beispielsweise wird man Fahrzeuge in der Regel auf Straßen oder Parkplätzen erwarten. Dieser Kontext wird von einigen Autoren verwendet, um detektierte Fahrzeuge als Hinweis für die Suche nach Parkplätzen [5] oder [6] zu nutzen. In diesem Beitrag wird in umgekehrter Weise die Information über Parkplätze und Straßen genutzt, um die Suche nach Fahrzeugen zu stützen. Die Lage von Parkplätzen und Straßen kann man aus digitalen Karten bzw. Geoinformationssystemen (GIS) entnehmen.

Für die Analyse von IR-Sequenzen, die in Schrägsicht aufgenommen sind, wie z.B. für die Gebäudeerkennung [7] ist eine 3D GIS Datenbasis notwendig. In dichten urbanen Gebieten werden aufgrund der Verdeckung durch Gebäude Fahrzeuge nur in einer nahezu vertikalen Ansicht (Nadirsicht) erkennbar sein. Da das betrachtete Testgebiet flach ist und Straßen und Parkplätze meist eben angelegt sind, reichen konventionelle 2D-Beschreibungen in Form von großmaßstäbigen digitalen Karten aus. Während in vorangegangenen Arbeiten [8],[7] die geometrischen Aspekte der Objekte im Vordergrund standen, liegt der Schwerpunkt in diesem Beitrag auf der Auswertung der radiometrischen Information.

(Abb. 1)

Einen Ausschnitt aus einem Bild der betrachteten IR-Sequenzen zeigt Abb. 1b. Es zeigt ein typisches Beispiel für ein thermisches Bild eines urbanen Bereiches mit niedriger Aktivität in der Szene. Während einige Gebäude und Fahrzeuge guten Kontrast zum Hintergrund besitzen, haben die Straßen keine klaren Grenzen in diesem Bildmaterial. Zum Vergleich ist der gleiche Szenenausschnitt im Luftbild (Aufnahme nicht zeitgleich) in Abb. 1a dargestellt. Kleinere warme Objekte wie der aktive Schornstein (Abb. 1c) oder die aktive Straßenbeleuchtung (Abb. 1d) erscheinen als helle Flecken. Passive stationäre Fahrzeuge erscheinen als dunkle unbewegte Flecken. Sie werden gewöhnlicherweise entlang des Straßenrandes oder auf Parkplätzen auftreten und sind in Reihen gruppiert. Aktive Fahrzeuge werden als bewegte oder unbewegte helle Flecken auf der Straße erscheinen. Ein unbewegter heller Fleck innerhalb einer Reihe von unbewegten dunklen Flecken kann als Fahrzeug interpretiert werden, das noch warm ist und vor kurzer Zeit aktiv war (Abb. 1e und 1f). Ein heller Fleck auf dem Straßenbelag oder Parkplatzbelag gibt einen Hinweis, dass dort vor kurzer Zeit ein Fahrzeug stand, das entfernt wurde.

(Abb. 1g). Reihen von hellen Flecken auf der Straße sind möglicherweise Fahrzeuge, die vor einer Kreuzung, einer Ampel oder in einem Stau warten. Ein Maß für die Aktivität von Fahrzeugen in der Szene könnte man durch den Prozentsatz von hellen zu dunklen Fahrzeugen oder von hellen zu allen Fahrzeugen angeben.

2. Bildauswertung

Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Schritte der Bildauswertung dargestellt. In Abschnitt 2.1 wird zunächst der Operator beschrieben, der kleine Flecken detektiert. Abschnitt 2.2 erläutert die Bildung von Fahrzeughinweisen durch Zusammenfassung (Clusterung) von Pixeln zu Spots. Die Verwendung von Karteninformation zur Maskierung von plausiblen Fahrzeughinweisen ist in Abschnitt 2.3 beschrieben. In Abschnitt 2.4 wird auf den Gruppierungsprozess eingegangen, der Kontext auswertet und eine weitere Reduktion von Störungen bewirkt. In Abschnitt 2.5 schlagen wir vor, die Redundanz in der Überlappungsregion der Bilder einer Sequenz auszunutzen und die Clusterung und Gruppierung statt im Bild- im Szenenkoordinatensystem auszuführen.

2.1 Detektion von auffälligen Flecken

Um Hinweise auf Fahrzeuge zu gewinnen, wird auf dem IR-Bild ein Spot-Detektor [9] angewendet. Beim Spot-Detektor wird auf quadratförmigen Randkonturen (siehe Abb. 2a) im Abstand d zu dem Zentralpixel $p=(x,y)$, also den Pixeln $p(x+i,y+j)$ mit $\text{Max}(|i|,|j|)=d$, jeweils der maximale Grauwert m_d bestimmt.

Der Abstand variiert von $d=1$ zu einem Maximum, der als Parameter des Operators angegeben wird. Von allen Maxima m_d , wird der minimale Wert mit dem zentralen Grauwert verglichen. Wenn der zentrale Grauwert signifikant höher ist, dann gibt es einen Hinweis für einen warmen Spot an dieser Position. In diesem Fall liefert der Operator die Differenz Δg als Ausgabe für die Position $p=(x,y)$. Andernfalls ist die Ausgabe null. Die Operation wird für alle Punkte des Bildes durchgeführt. Da der Operator im wesentlichen auf Vergleichsoperationen basiert, kann er lauffzeiteffizient implementiert werden. Kalte Flecken können in ähnlicher Weise durch entsprechende Invertierung des Operators oder Invertierung des Bildes gefunden werden. Abbildung 2c-d zeigen jeweils das Ergebnis der Operation.

(Abb. 2)

2.2 Zusammenfassung von Bildpunkten zu Spots

Der Spot-Detektor spricht bei länglichen Objekten, wie Fahrzeugen, an mehreren Positionen an (Abb. 3b). Pixel, die nach der Spot-Detektion ungleich null sind, werden in der nachfolgenden symbolischen Auswertung bearbeitet. Der erste Schritt ist dabei die Zusammenfassung benachbarter Bildelemente passender Temperatur (kalt oder warm) zu Spots. Neben der Temperatur erhalten die Spots als Attribute die Position, Orientierung, Masse und Exzentrizität. In Abb. 3c-d sind vier Beispiele für Spots dargestellt.

(Abb. 3)

Abb. 3c zeigt einen kalten Spot (schwarz), der von einem Fahrzeug stammt, und einem warmen Spot (weiß), der von der warmen Straßenfläche stammt. Von diesem Platz wurde ein Fahrzeug vor kurzer Zeit wegbewegt. Die Kreuze zeigen die Position, Orientierung und Exzentrizität der Spots. Die Masse des kalten Spots ist etwa um eine Größenordnung größer als die Masse des warmen Spots. Während dies Beispiele für zu berücksichtigende Spots sind, sieht man in Abb. 3d Beispiele für Spots mit ähnlichen oder auffälligen Attributwerten, die nicht auf Fahrzeuge oder auf Effekte, die von Fahrzeugen stammen, hinweisen. Diese stammen beispielsweise von Strukturen des Daches, wie im oberen linken Bereich von Abb. 1b zu sehen ist. Der kalte Spot ist zwar sehr exzentrisch, hat aber nur eine kleine Masse, vergleichbar mit dem warmen Spot in Abb. 3c. Der warme Spot hat zwar eine große Masse, aber eine geringe Exzentrizität, so dass die berechnete Orientierung keine Bedeutung hat. Unter allen Spots im Bild stellen die, die zu Fahrzeugen gehören (wie in Abb. 3c) die Minderheit dar, während Hintergrundstörungen wie in Abb. 3d die Mehrheit darstellen. Dieser Umstand legt es nahe, zusätzliche Informationen aus Karten zu verwenden, um die Suche auf Straßenränder und Parkplätze zu konzentrieren.

2.3 Zusätzliche Karteninformation

Großmaßstäbige Karten wie beispielsweise die Deutsche Grundkarte 1:5000 (DGK5) bieten sich als zusätzliche Wissensquellen für die Bildanalyse an (Abb. 4a). In digitaler Form (Vektorgraphik) liegen die Kartenblattebenen bzw. die Kartenobjekte getrennt nach Klassen (z.B. "Straße" oder "Parkplatz") vor. Bei der Ebene "Straßen" werden ausgehend von den Konturen (Straßenrand) Erwartungsbereiche für parkende Fahrzeuge auf und neben der Straße definiert. Abb. 4b zeigt solch eine Kartenebene "Straße", die in weißen Linien dem Bild überlagert wurde. Die aus der Karte abgeleiteten Erwartungsbereiche sind in dunklen Grauwerten gezeigt, während die Bereiche, in denen keine Fahrzeuge erwartet werden, heller dargestellt sind.

(Abb. 4)

Um die Registrierung von Karte und Bild vorzunehmen, muss die Aufnahmesituation berücksichtigt werden. Im vorliegenden Fall wurde für die Kamera eine quadratische Verzeichnung mit einem Parameter berücksichtigt. Es wurde angenommen, dass die Szene flach ist und eine Homographie mit acht Parametern benutzt werden kann.

2.4 Gruppierung von Spots in Reihen

Fahrzeuge werden häufig in Gruppen hintereinander, nebeneinander oder schräg versetzt nebeneinander abgestellt. Dies kann durch bauliche Maßnahmen oder Markierungen von Parkplätzen bedingt sein; findet aber auch auf freien unmarkierten Plätzen intuitiv statt. Auf Straßen ohne Parkmarkierung findet man Fahrzeuge häufig in gleichen Abständen hintereinander in Reihe entlang des Straßenrandes abgestellt. Dieses Kriterium erlaubt es, sie von anderen spotförmigen Objekten zu unterscheiden. Die Gruppierung von solchen Spots in Reihen unterschiedlicher Länge ist eine generische Operation. Abb. 5a zeigt einen Ausschnitt von einem IR-Bild, das eine Fahrzeugreihe enthält.

(Abb. 5)

Alle detektierten warmen und kalten Spots sind in Abb. 5b dargestellt. Spots, die tatsächlich von Fahrzeugen stammen, stellen nur eine Teilmenge dar. Abb. 5c zeigt solche Spots, die ausreichend nahe an einem Straßenrand liegen. Die Gruppierung beginnt nur von solchen Spots, die eine bestimmte Mindestmasse besitzen. Die Gruppierungsrichtung wird beschränkt durch die Richtung der Straßenränder, d.h. dass Karteninformation in den Gruppierungsprozess einfließt. Es werden nur solche Spots in die Gruppe aufgenommen, die in das Modell der geraden und äquidistanten Reihung passen.

Es bestehen verschiedene Alternativen der Gruppierung, z.B. wenn zwei Spots dicht nebeneinander an einer Position liegen, die mit dem Modell konsistent ist. (siehe Abb. 5c, rechter Bestandteil der Reihe). Unter den Alternativen wird die Gruppe mit der besten Bewertung ausgewählt, die sich aus der Anzahl der Spots, der Gesamtmasse, der Regelmäßigkeit im Abstand und in der Geradlinigkeit und Konsistenz in der Ausrichtung ergibt. Abb. 5d zeigt die beste Gruppe mit sieben Spots.

2.5 Verarbeitung von Bildsequenzen

Verglichen mit Standard-Luftbildmaterial ist die Bildgröße der hier verwendeten IR-Bilder eher klein (Standard Videoformat). Eine angemessene Bodenauflösung impliziert, dass man mit einem Bild (Frame) nur einen kleinen Ausschnitt der Szene erfassen kann. Um einen größeren Bereich der Szene zu überwachen, muss eine Sequenz von Bildern aufgenommen werden.

(Abb. 6)

Die Analyse sollte dabei nicht unabhängig in den Bildern erfolgen. Vielmehr schlagen wir vor, Spots des Bildes mit ausreichender Masse in ein festes Ortkoordinatensystem der Szene zu projizieren und die Clusterung der Spots in der Szene auszuführen. Die Verwendung der Karteninformation und die Gruppierung wird dann in der Szene ausgeführt statt im einzelnen Bild. Große Strukturen, wie z.B. sehr lange Reihen von Fahrzeugen, die nicht in ein einzelnes Bild passen, können so analysiert werden. Weiterhin können Parameter und Toleranzen angemessener in Maßen der Szene (z.B. Meter) statt in Maßen des Bildes (Pixel) angegeben werden. Für Kameras mit nicht-projektiver Verzerrung sind gerade Linien in der Szene nicht notwendigerweise gerade Linien im Bild. Dies führt bei Verwendung des Pixelkoordinatensystems zu zusätzlichen Problemen bei ausgedehnter Gruppierung, wie der Reihenbildung.

Bildsequenzen erlauben eine Mehrfachmessung der Attribute eines Spots. Mittelung der Masse, Orientierung und Exzentrizität reduziert das Rauschen. Zeitliche Bildsequenzen erlauben die Bestimmung der Geschwindigkeit als zusätzliches Attribut eines Spots.

3. Ergebnisse

Die Abb. 7 zeigt ein Bild der Sequenz, das einen Szenenausschnitt zeigt, der sich weiter links von dem in Abb. 1 dargestellten Bereich befindet. Dieselbe Gruppe von

Fahrzeugen kann am rechten Rand von Abb. 7 und am linken Rand von Abb. 1 gesehen werden.

(Abb. 7)

Der von der Bildsequenz (Abb. 6) abgedeckte Bereich sowie die Ergebnisse für einen Szenenausschnitt sind in Abb. 8 dargestellt. Abb. 8b zeigt alle Spots, die von ungefähr 40 Bildern in der Szene akkumuliert wurden. Kalte Spots sind schwarz und warme Spots weiß gekennzeichnet. Die oben erwähnte Gruppe erscheint im oberen mittleren Teil. Viele der warmen Spots stammen von Strukturen des Daches. Der Anteil der warmen Spots im Verhältnis zu allen Spots beträgt 34%.

(Abb. 8)

Unter Ausnutzung der vorher beschriebenen Beschränkungen verbleiben nur noch Spots, die von Fahrzeugen stammen (Abb. 8c). Alle Spots vom Dach und einige Spots von der Straße verschwinden. Der Anteil der warmen Spots im Verhältnis zu allen Spots beträgt 3%.

4. Diskussion

Kritisch für den Erfolg eines solchen Systems ist die angepasste Wahl der Parameter. Ein Beispiel für einen kritischen Parameter ist die Breite der Erwartungsbereiche entlang der Straßenränder. Diese sollten in Hinblick auf die maximalen Fehler der Registrierung (Geokodierung) und außerdem in Hinblick auf den Abstand vom Straßenrand gewählt werden, in dem typischerweise Fahrzeuge auftreten. Wählt man ihn zu klein, wird eine große Zahl von Fahrzeugen nicht detektiert. Wählt man ihn zu großzügig, werden Spots auf den Dächern mit Fahrzeugen verwechselt.

Betrachtet man die ersten Ergebnisse, so sieht man, dass nicht alle Fahrzeuge gefunden wurden. Die Parametereinstellung wurde so gewählt um möglichst Fehlzusweisungen (Fehlalarme) zu vermeiden (z.B. wurden nur Gruppen akzeptiert, die wenigstens vier Fahrzeuge besitzen). Will man die Gesamtzahl der Fahrzeuge möglichst genau schätzen, müsste man die Parametereinstellungen optimieren. Für die grobe Schätzung des Verhältnisses von aktiven zu passiven Fahrzeugen wurde dies hier nicht durchgeführt.

Die Gruppe der Fahrzeuge am rechten Rand der Straße in der unteren linken Region von Abb. 7 führt zu einem verteilten Cluster von Spots in der Szene (Abb. 8b, links). Es führt zu zwei Gruppen von Fahrzeugen auf beiden Seiten der Straße (Abb. 8c, links). Wir führen diesen Fehler auf die Ungenauigkeit bei der Bestimmung der externen Orientierung der Kamera zurück. Da für die verwendete IR-Bildsequenz GPS- und INS-Daten nicht zur Verfügung standen, wurden die Orientierungsdaten auf jedem zehnten Bild (Frame) manuell bestimmt und die Daten für die dazwischenliegenden Bilder interpoliert. Die Aufzeichnung der Orientierungsdaten mit entsprechender Genauigkeit könnte solche Fehler vermeiden.

Die perzeptuelle Gruppierung und die Ausnutzung von zusätzlichen Wissensquellen wie Karten können die automatische Interpretation von hochauflösenden

thermischen Bildsequenzen in Nadirsicht unterstützen. Dadurch wird es möglich, auch in urbanen Bereichen mit komplexen Strukturen Fahrzeuge von anderen Objekten zu unterscheiden und ihre Aktivität zu bestimmen. Dabei hat die Auswertung in der "Szene" im Gegensatz zur Auswertung im "Bild" Vorteile, wie z.B. die Akkumulierung von Hinweisen mehrerer Bilder.

Der Testdatensatz zeigt eine Szene mit eher niedriger Aktivität. Um Aussagen zu treffen, wie die Methode auf Szenen mit hoher Aktivität arbeitet, müssen weitere Daten verarbeitet werden, wie z.B. Szenen, die Hauptstraßen mit hohem Verkehr enthalten, und Szenen mit Parkplätzen von Einkaufszentren während der Öffnungszeiten. In Szenen mit bewegten Fahrzeugen ist das Verfolgen der Fahrzeuge und die Bestimmung ihrer Geschwindigkeit ein weiteres wichtiges zur Unterscheidung beitragendes Attribut. Aktive Fahrzeuge werden sich vorzugsweise auf Straßen mit einer Geschwindigkeit bewegen, für die vernünftige Grenzen gegeben sind. So können warme Spots mit einer bestimmten Masse und einer den Regeln entsprechenden Geschwindigkeit als aktive Fahrzeuge gezählt werden; sogar auch dann, wenn sie nicht Teil einer Reihe sind.

Literatur

- [1] Dreschler L, Nagel HH, 1982. Volumetric model and trajectory of a moving car derived from monocular TV frame sequence of a street scene. *CGIP*, 20, 199-228.
- [2] Haag M, Nagel HH, 1999. Combination of edge element and optical flow estimates for 3D-model based vehicle tracking in traffic image sequences. *IJCV*, 35:3, 295-319.
- [3] Partsinevelos P, Agouris P, Stefanidis A, 2000. Modelling movement relations in dynamic urban scenes. *International archives of photogrammetry and remote sensing*, vol. 33, part B4, 818-825.
- [4] Wolffe WL, Zissis GJ (1985) *The infrared handbook. Infrared Information Analysis (IRIA) Center, Environmental Research Inst. of Michigan*
- [5] Quint F, 1996. Recognition of structured objects in monocular aerial images using context information. In: Leberl F, Kalliany R, Gruber M (eds) *Mapping buildings, roads and other man-made structures from images. IAPR TC-7 workshop in Graz, Oldenburg, Wien*, 213-228.
- [6] Hinz S, Baumgartner A, 2001. Vehicle detection in aerial images using generic features, grouping and context. In: Radig, B., Florczyk S., *Pattern recognition, DAGM 2001, LNCS 2191, Springer, Berlin*, 45-52.
- [7] Stilla U, Soergel U, Jaeger K, 2000. Generation of 3D-city models and their utilization in image sequences. *International archives of photogrammetry and remote sensing*, vol. 33, part B2, 518-524.
- [8] Stilla U, 1995. Map-aided structural analysis of aerial images. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 50(4):3-10
- [9] Kohnle A, Neuwirth W, Schuberth W, Stein K, Höhn DH, Gabler R, Hofmann L, Euing W, 1993. Evaluation of essential design criteria for IRST systems. *76/SPIE Vol.2020 Infrared technology XIX*.

Abb. 1: a) Luftbildausschnitt eines urbanen Bereichs. b) Beispiel für ein thermisches Infrarotbild des gleichen Szenenausschnittes (Bilder wurden nicht zur gleichen Tageszeit und Jahreszeit aufgenommen). Die parkenden Fahrzeuge erscheinen als dunkle Flecken, die fast äquidistant in Reihen entlang der Fahrbahn angeordnet sind. c) Schornstein, d) Strassenbeleuchtung, e) -f) parkende Fahrzeuge, ein warmes Fahrzeug (kürzlich angekommen), g) warmer Fleck eines kürzlich weggefahrenen Fahrzeugs.

Abb. 2: Spot-Detektor und Anwendung auf ein IR-Bild. a) Pixelpositionen im Abstand $d=1$, $d=2$, $d=3$, b) IR-Bild, c) Ergebnis der Detektion von kalten Flecken, d) Ergebnis der Detektion von warmen Flecken.

Abb. 3: Beispiele für Cluster und Spots. a) IR-Bildausschnitt, b) Ergebnis der Detektion von kalten Flecken, c) Beispiele: starker kalter und schwacher warmer Spot auf der Straße, d) Beispiele: kalter und warmer Spot auf dem Dach

Abb. 4: a) Kartenausschnitt DGK5 © LVM Baden-Württemberg, Aussenstelle Karlsruhe, b) aus der digitalen Karte abgeleitet Erwartungsbereiche mit unterlegtem IR-Bild

Abb. 5: Nutzen der Gruppierung. a) Ausschnitt von einem IR-Bild, b) alle gefundenen Spots, c) durch Erwartungsbereiche bestätigte Spots, d) verbleibende Spots nach der Gruppierung.

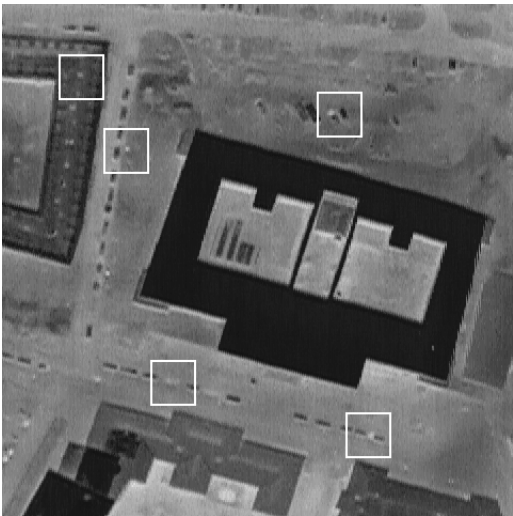
Abb. 6: Beispiel für eine Sequenz von 10 Sekunden. Es ist nur jedes zehnte Bild der Sequenz (250 Bilder) dargestellt.

Abb. 7: Ausschnitt eines IR-Bildes aus der gleichen Sequenz. Das Bild zeigt einen Szenenausschnitt links von dem in Abb. 1 dargestellten Szenenausschnitt.

Abb. 8: a) Abdeckung der Szene durch die Bildsequenz. b) Szenenausschnitt mit kalten und warmen Spots (vergl. Abb. 5). Es sind sowohl Spots von Fahrzeugen wie auch Spots auf Dächern enthalten. c) Ergebnis der Gruppierung entlang der Straßenränder (vergl. Abb. 5d). Alle Spots stammen von Fahrzeugen. Nur zwei Spots sind warm. Die Fahrzeugaktivität wird als niedrig eingeschätzt.



a



b



c

d

e

f

g

Abb.1

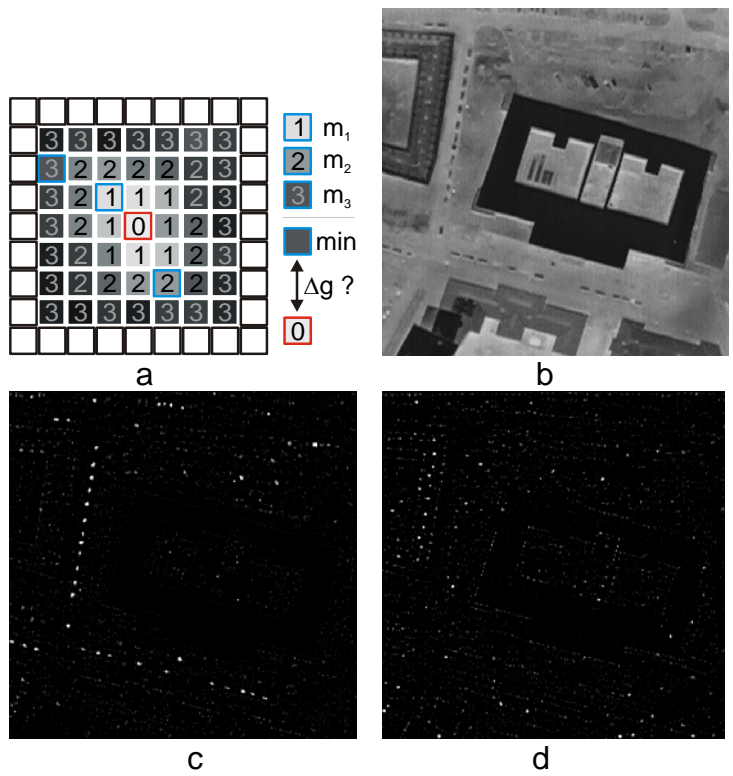


Abb. 2

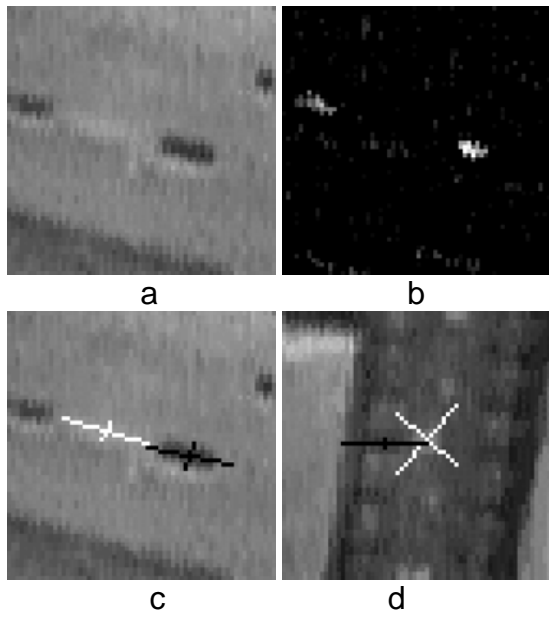
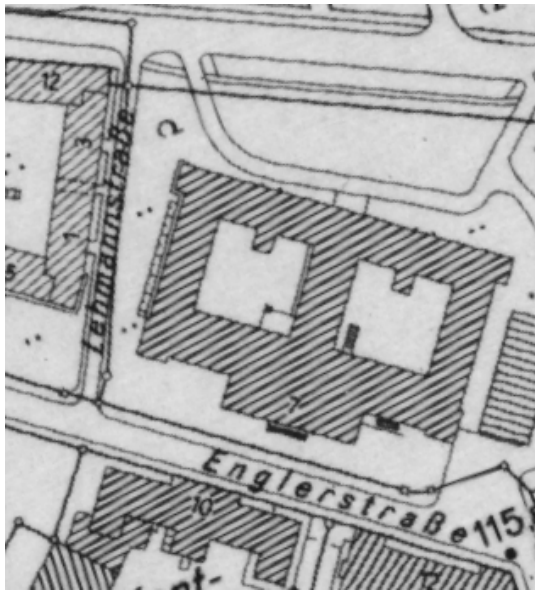
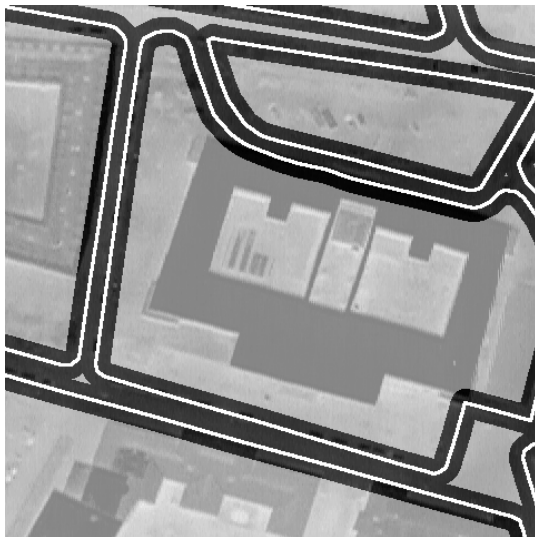


Abb. 3



a



b

Abb. 4

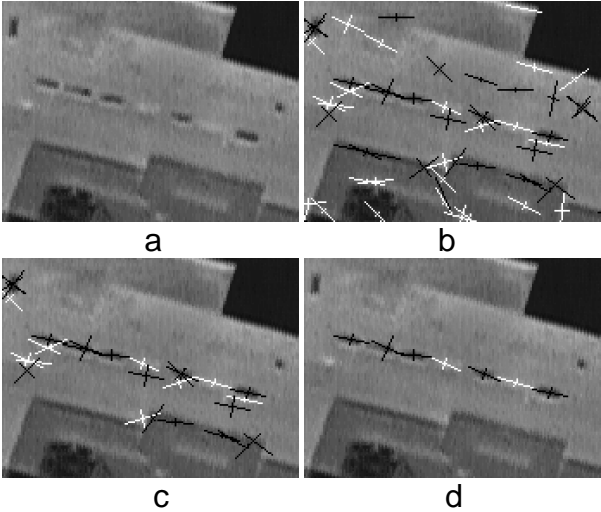


Abb. 5

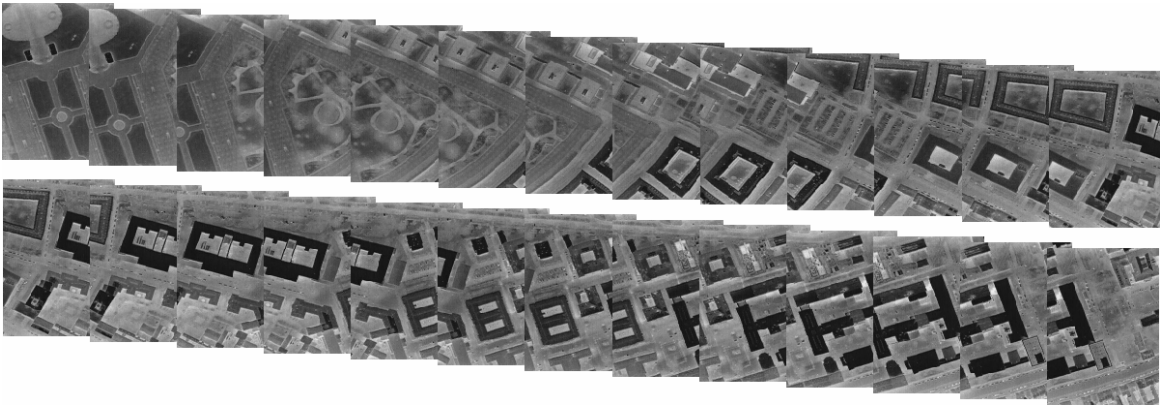


Abb. 6

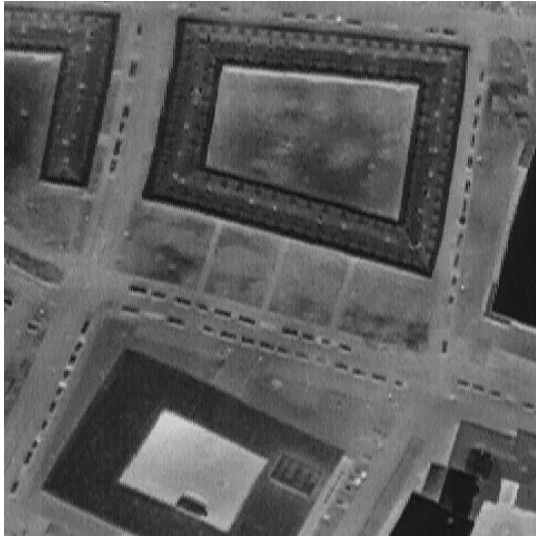


Abb. 7

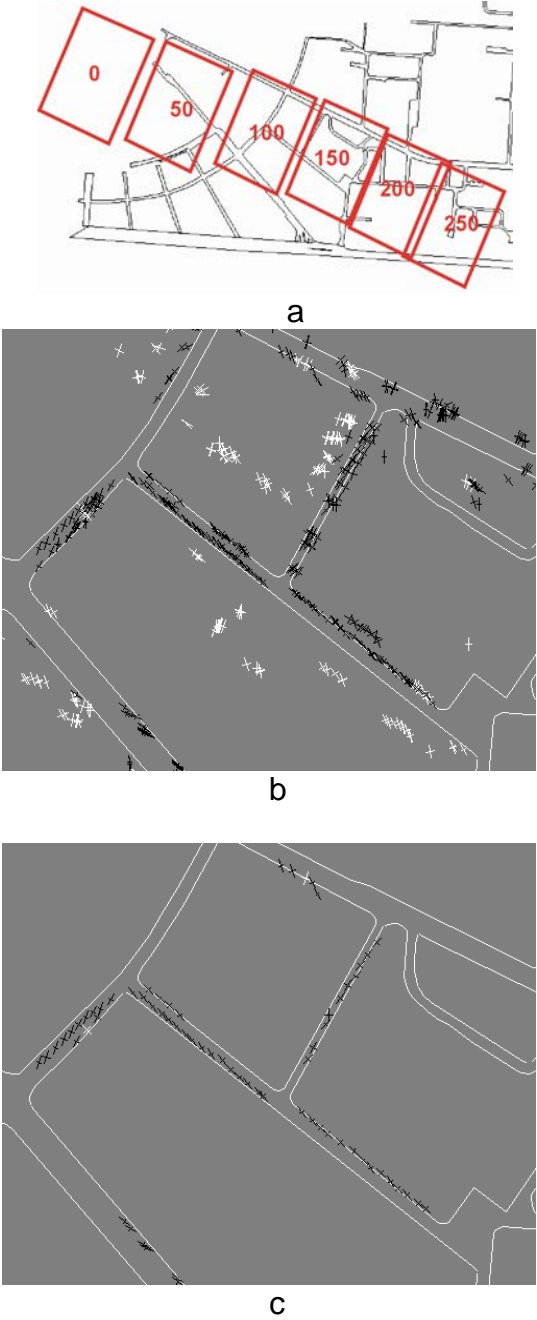


Abb. 8