

Mustererkennung zur Detektion von Rehkitzen in Thermalbildern

Martin Israel, Stephan Evers

Institut für Methodik der Fernerkundung,
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen,
{Martin.Israel, Stephan.Evers}@dlr.de
15.3.2011

Zusammenfassung

Bei der Frühjahrsmahd sterben ca. 25% der neugeborenen Rehkitze durch Mähmaschinen [Jar02]. Sie werden in dieser Zeit, den Monaten Mai und Juni, in den Wiesen geboren. Durch den angeborenen Drückinstinkt verharren die Kitze in den ersten Lebenstagen reglos am Boden wenn Gefahr droht, was dazu führt, dass sie von den Landwirten oft übersehen werden. Daraus entsteht die Nachfrage nach Systemen, mit denen die Tiere detektiert werden können. In diesem Beitrag wird ein mit Thermalkamera und Miniaturrechner versehener Oktokopter als Funktionsmuster eines solchen Systems vorgestellt. Dieser fliegt das zu mähende Feld GPS-gesteuert in einem Raster ab. Dabei werden Thermalbilder aufgenommen. Ein Mustererkennungsalgorithmus zur Verarbeitung dieser Aufnahmen läuft auf dem Miniaturrechner, um Rehkitze automatisch zu erkennen. Die Mustererkennung basiert auf einem Kompressionsverfahren. Bei der Kompression eines Bildes wird ein sog. Dictionary erstellt, welches nur noch redundanzfreie Information enthält. Die Dictionaries der vom Oktokopter aufgenommenen Bilder werden mit denen der Trainingsbilder aus den Klassen der Rehkitze und Wiesen verglichen. Das untersuchte Bild wird der Klasse zugeordnet, der die Dictionaries mit den höchsten Übereinstimmungen angehören und somit entschieden, ob auf dem Bild ein Rehkitz zu erkennen ist oder nicht.

Abstract

During pasture mowing 25% of the newborn fawns are killed [Jar02]. They are born in the meadows in the months May and June, the time of pasture mowing. Because of their innate instinct to remain motionless on the ground in case of imminent danger, they are often overlooked by farmers and inadvertently killed during mowing. This creates the demand for systems capable to detect these hidden animals. The paper presents a functional model of such a system, consisting of an airborne platform (octocopter) equipped with a thermal camera and a miniature computer. While the octocopter flies GPS-controlled search missions above the field, thermal images are taken permanently. A pattern recognition algorithm scans each thermal image captured during the flight in order to automatically detect fawns. The algorithm is based on a compression method. During the compression of an image a dictionary is created containing only non-redundant information. The dictionaries of the images recorded are compared with those of the training set categorised by the classes of fawns and meadows. The tested image is assigned to the class whose dictionaries exhibit greatest similarity. The decision, whether a fawn is recognized or not, is based upon this assignment.

Keywords: parameter free pattern recognition, animal protection, agriculture, fawn detection, fast compression distance, image analysis, uav

1 Einleitung

Die Wiesenflächen stellen im Mai und Juni ein sehr gutes Versteck für neugeborene Rehkitze dar, da das Gras oft bis über einen Meter hoch wächst. Da die Kitze in den ersten Lebenstagen keine

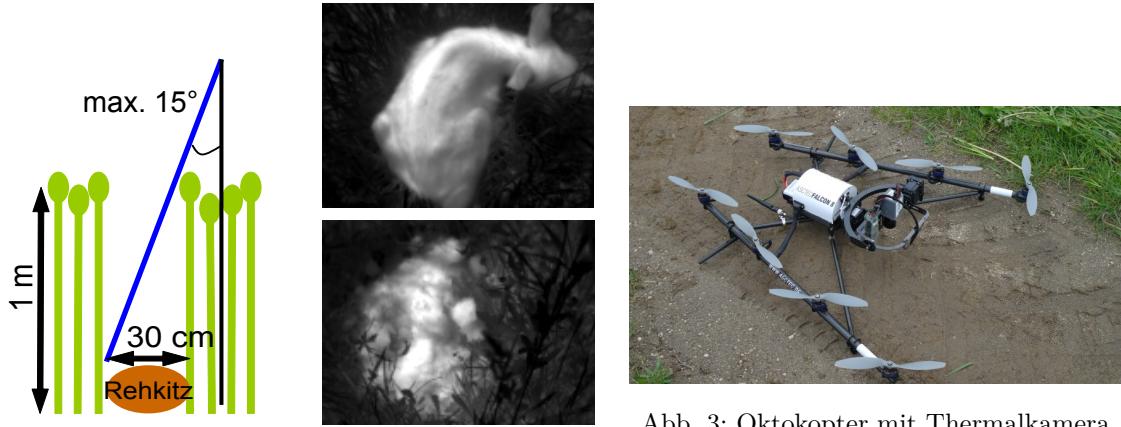


Abb. 3: Oktokopter mit Thermalkamera

Abb. 1: begrenzter Blickwinkel aufgrund geometrischer Randbedingung
Abb. 2: Thermalbilder von Kitz (oben) und Erdhügel (unten)

Witterung abgeben und bei Gefahr reglos am Boden verharren, werden sie auch von Hunden und Füchsen nur selten aufgespürt. Die Wiesenmahd fällt oft genau in die Zeit, in der die Rehkitze noch fluchtunfähig sind. Da es mit herkömmlichen Methoden äußerst schwierig ist, die Tiere vor dem Mähtod zu retten, kommt es häufig zu diesen Unfällen. Darüber hinaus entsteht ein weiterer Schaden: Bei der Silage von mit Kadaverteilern kontaminiertem Mähgut entsteht das Gift „Botulinumtoxin“, das für die damit gefütterten Tiere lebensbedrohlich ist. Im Rahmen eines Verbundprojektes, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird, werden Systeme entwickelt, um die Rehkitze rechtzeitig vor der Mahd zu finden. Unter anderem entsteht ein Rehkitzdetektionssystem auf einer fliegenden Plattform, einem Oktokopter, der in einer Höhe von bis zu 150 m über Grund fliegen kann. Die Rehkitzsuche aus der Luft hat den Vorteil, dass ein großer Bereich simultan überblickt werden kann. Durch die geometrische Randbedingung ist es bei einer zum Zeitpunkt der Mahd üblichen Grashöhe von bis zu einem Meter möglich, ein Kitz bis zu einem Winkel von 15° zum Lot zu erkennen (Abb. 1).

Im optischen Spektralbereich sind die Kitze sehr gut getarnt. Sie besitzen aber ein relativ schlecht isolierendes Fell, weswegen sie mit Hilfe einer Thermalkamera, vor allem in den frühen Morgenstunden, senkrecht von oben gut erkennbar sind. Der primäre Sensor des Systems ist aus diesem Grund eine Thermalkamera.

Der eingesetzte Oktokopter (Abb. 3) kann über eine Autopilotsoftware gesteuert werden, die ein GPS-Modul zur Navigation verwendet. Dadurch ist es möglich, das zu mähende Feld in einem Raster so abzufliegen, dass das Feld mit einer geringen Anzahl an Bildern vollständig abgedeckt wird. An jedem Rasterpunkt wird ein Bild gemacht, abgespeichert und analysiert, um festzustellen, ob sich darauf ein Rehkitz befindet. Die Bildanalyse findet auf einem Miniaturrechner auf dem Oktokopter statt. Die Anforderung an den Mustererkennungsalgorithmus ist, dass die Bilder in Echtzeit analysiert werden. Im Idealfall liefert bereits ein einfacher Schwellwert-Algorithmus gute Erkennungsraten. Bei direkter Sonnenbestrahlung gestaltet sich die Aufgabe wesentlich schwieriger, denn dann sind lebende Kitze nicht mehr die einzige auffälligen Infrarotsignaturen, die in der sonst homogenen Wiese gemessen werden. Ein Erdhügel wie in Abb. 2 unten kann dann leicht mit einem Kitz (Abb. 2 oben) verwechselt werden. Die variablen Licht- und Szenenverhältnisse bei dieser Aufgabe machen die Wahl der geeigneten Merkmale schwer. Der Fast-Compression-Distance Algorithmus benötigt keine vom Menschen selektierten Merkmale und ist sehr schnell. Deshalb ist er für diese Aufgabe gut geeignet.

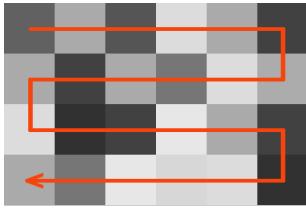


Abb. 4: Schlangenlinienförmige Aneinanderreihung der Bildzeilen

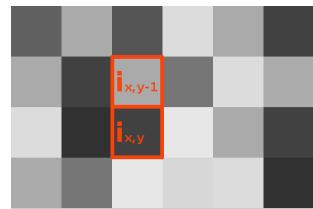


Abb. 5: Filter für das Vertikalbit

2 Mustererkennungsalgorithmus

2.1 Feature Extraction mit Fast-Compression-Distance (FCD)

Im Gegensatz zu vielen Verfahren der Objekterkennung verfolgt der Fast-Compression-Distance Algorithmus einen parameterfreien Ansatz. Das grundlegende Prinzip auf dem der FCD Algorithmus aufbaut, ist die verlustfreie Komprimierung der Bildinformationen, durch das Auffinden der nicht redundanten Bestandteile, die in einem sog. Dictionary zusammengefasst werden, und deren Vergleich untereinander.

Um die Ähnlichkeit zwischen Bildern zu erfassen, muss für jedes Bild ein Dictionary erstellt werden und für jede Kombination an Bildpaaren die Schnittmenge ihrer Dictionaryeinträge gebildet werden. Die absolute Anzahl an Elementen in der Schnittmenge zwischen zwei Dictionaries ist der ausschlaggebende Wert, der die Ähnlichkeit von Bildern zueinander beschreibt. Je höher dieser Wert, desto ähnlicher sind die Bilder. Diese Relationen können auch als Features der Bilder interpretiert werden.

Die Komprimierung erfolgt durch die Anwendung des Lempel-Ziv-Welch Algorithmus, der eine Zeichenkette oder auch eine Folge von Pixeln auf wiederkehrende Muster untersucht [ZL78]. Jedes gefundene Muster wird einmalig in das resultierende Dictionary abgespeichert und indiziert. Das Ergebnis ist ein Ausgabestring, der nur noch aus Indizes auf die gesammelten Muster besteht. Der Effekt der Komprimierung entsteht durch das Ersetzen der langen Muster durch die wesentlich kürzeren Indizes. Beinhaltet ein Bild viele lange Muster, die sich oft wiederholen, ist die Kompressionsrate besonders hoch. Abweichend von der herkömmlichen Anwendung des LZW Algorithmus, findet der erzeugte Ausgabestring keine Verwendung. Wohingegen jedoch das erzeugte Dictionary die Informationen enthält, die zur Objekterkennung notwendig sind.

Da der LZW Algorithmus nur Zeichenketten verarbeitet, muss ein zweidimensionales Bild auf nur noch eine Dimension reduziert werden. Dies geschieht durch Aneinanderreihung der Pixel in einer Schlangenlinie (Abb. 4). Dadurch wird die Stetigkeit des Temperaturverlaufs im nun eindimensionalen Bild gewährleistet und der resultierende Bildstring weist keine künstlichen Sprünge an den Rändern der Bildzeilen auf.

Der dadurch entstandene Informationsverlust in vertikaler Richtung kann durch Anwendung eines Filters ausgeglichen werden. Zwischen zwei vertikalen Pixeln wird die Differenz der Grauwerte berechnet (Abb. 5). Überschreitet der Betrag dieser Differenz einen festgelegten Schwellwert, so wird bei beiden Pixeln ein zusätzliches Bit gesetzt. Nach [CD10] liefert ein Schwellwert bei 40 % des Grauwertspektrums eine Verbesserung der Erkennungsrate.

2.2 Klassifikation

Angewandt auf alle Bilder im Datensatz, werden für jedes Bild alle Ähnlichkeiten zu den restlichen Bildern erzeugt. Bei einer Anzahl von n Bildern ergeben sich so $n * (n - 1)$ Werte, die sich am besten in einer oberen bzw. unteren Dreiecksmatrix darstellen lassen. Addiert mit seiner Transponierten beschreibt diese Matrix zeilen- und spaltenweise die Merkmalsvektoren der IR-Bilder. Die Klassifizierung neuer Datensätze erfolgt entweder durch ein Nearest-Neighbor-Verfahren oder eine Mittelwertanalyse der Merkmalsvektoren.

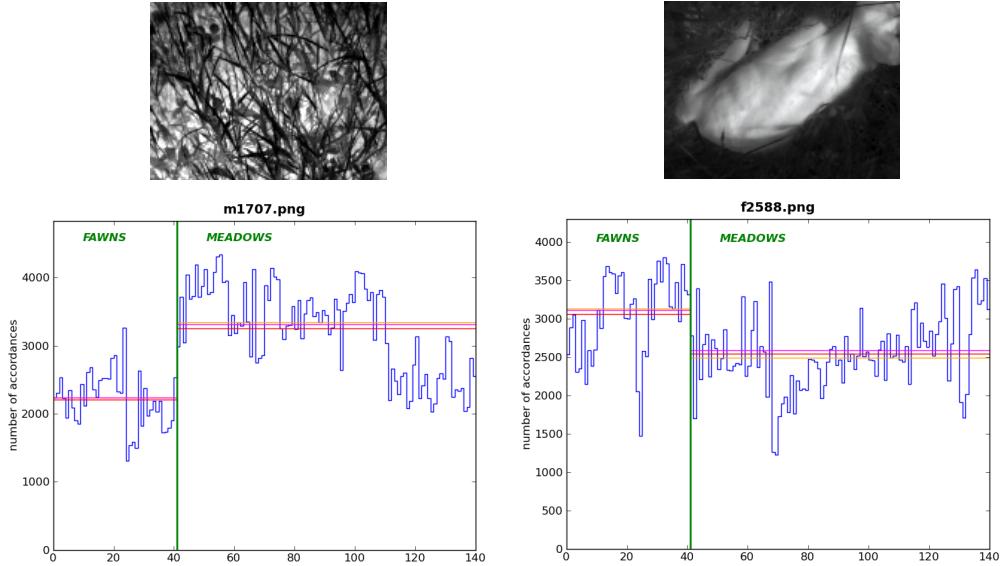


Abb. 6: oben: Thermalbilder von Wiese und Rehkitz, unten: Merkmalsvektoren dieser Bilder

Zur Mittelwertanalyse ist es notwendig, dass die Ähnlichkeiten entsprechend der vorhandenen Klassen, also Rehkitze und Wiesen, im Merkmalsvektor zusammenhängend gruppiert sind (siehe Abbildung 6 unten). Die Diagramme stellen die Merkmalsvektoren der darüberliegenden Bilder dar. Ein Eintrag eines Merkmalsvektors ist der Ähnlichkeitswert (number of accordances) zu einem Bild in der Trainingsmenge. Die Länge des Merkmalsvektors wird also von der Anzahl der Trainingsbilder (horizontale Achse) bestimmt. Steht also die Klassifizierung eines neuen Bildes an, so wird dessen Merkmalsvektor in Bereiche entsprechend der Anzahl von Klassen aufgeteilt und jeweils das quadratische Mittel (magenta), das arithmetische Mittel (rot) und der Median (orange) gebildet. Jeder Bereich deckt die Ähnlichkeiten zu den Bildern der entsprechenden Klasse ab.

Als besonders geeignet erwies sich der Median, da dieser robust gegenüber Ausreißern ist. So können auch den Klassen entsprechend untypische Bilder mit in die Trainingsmenge aufgenommen werden. Entscheidend für die Zuordnung des neuen Bildes zu einer Klasse ist also der größere Median. In Abbildung 6 links unten ist der Merkmalsvektor eines neuen IR-Bildes (Abbildung 6 oben) dargestellt. Die grüne vertikale Linie trennt die Ähnlichkeiten zu den Rehkitzbildern und den Wiesenbildern in der Beispieldatenmenge. Da der Median im Bereich der Wiesenbilder größer ist, als im Bereich der Rehkitze, handelt es sich bei dem aktuellen IR-Bild um ein Wiesenbild. Der Objekterkennungsalgorithmus hat also kein Rehkitz feststellen können. Im Gegensatz hierzu wurde für das rechte Thermalbild im erzeugten Merkmalsvektor (Abb. 6 rechts unten) eine Zuordnung zur Klasse der Rehkitze durch den Algorithmus festgestellt.

Durch Bildung der absoluten Differenz zwischen den Merkmalsvektoren, lässt sich die Ähnlichkeit zu einem einzelnen Bild in der Trainingsmenge bestimmen. Der Merkmalsvektor beschreibt die Ähnlichkeit eines Bildes zu allen vorhandenen Bildern. Je kleiner die Differenz zwischen zwei Merkmalsvektoren, desto eindeutiger ist ihre Zuordnung in die gleiche Klasse. Beim Nearest Neighbor Ansatz erfolgt die Einteilung in eine Klasse über das Auffinden des ähnlichsten Merkmalsvektors. Da ein Kitzbild hohe Ähnlichkeiten mit anderen Kitzbildern aufweist, ist der Betrag der absoluten Differenz im linken Abschnitt der Merkmalsvektoren sehr gering. Auch im rechten Abschnitt der Merkmalsvektoren verhalten sich die Ähnlichkeiten gleich, da Kitzbilder entsprechend weniger Gemeinsamkeiten mit Wiesenbildern aufweisen.

3 Anwendung

3.1 Hardwareaufbau

Der Oktokopter vom Typ Falcon 8 stellt die Plattform für den fliegenden Wildretter dar. Aufgrund geringer Zuladungskapazität kamen extra leichtgewichtige Komponenten zum Einsatz. Diese sind auf einen Nutzlasthalter mit automatischer Richtungs- und Neigungsregulierung montiert.

Die verwendete Thermalkamera hat eine Auflösung von 640 x 480 Pixeln und ein 19mm Weitwinkelobjektiv. Der Blickwinkel (Field of View) dieser Optik beträgt $32^\circ \times 26^\circ$. Das ist in etwa der Blickwinkel, bei dem man gerade noch Kitze in ein Meter hohem Gras erkennen kann. Bei einer Flughöhe von 50 m kann mit dieser Optik ein durchschnittliches Kitz noch auf ca. 24 Pixeln abgebildet werden. Die Schwadbreite lässt sich über die Formel $Schwadbreite = 2 \cdot \text{Flughöhe} \cdot \tan(\frac{FOV}{2})$ berechnen. Bei 50 m Flughöhe sind es 28,7 m.

Abb. 7 zeigt den Systemaufbau des „fliegenden Wildretters“: Die Bilder der Thermalkamera werden über den analogen Videolink direkt auf den Monitor an der Fernbedienung geschickt. Parallel dazu werden die Bilddaten durch den Framegrabber digitalisiert. Durch einen Triggerimpuls wird die Capturesoftware veranlasst die Bilddaten abzuspeichern. Der Triggerimpuls löst aus, sobald der Oktokopter sich an der GPS-Position befindet, die der Autopilot vorgegeben hat. Der Mustererkenner registriert das neu abgespeicherte Bild und verarbeitet es. Wird ein Rehkitz detektiert, dann wird ein Alarmsignal und die aktuelle GPS-Position über die Funkverbindung an die Bodenstation gesendet.

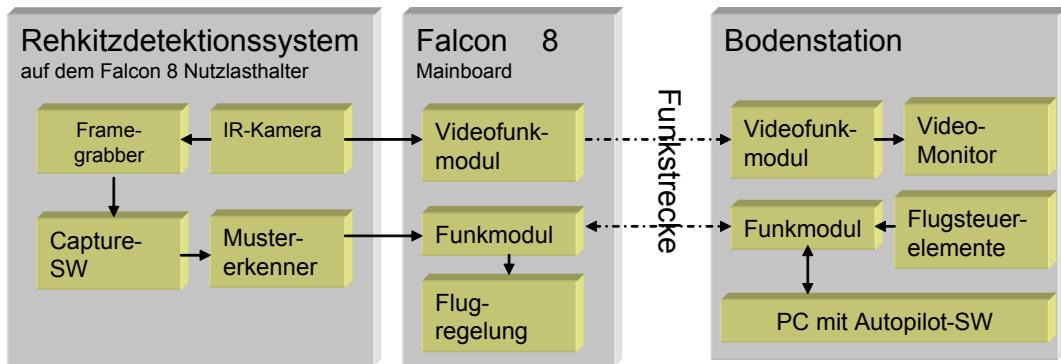


Abb. 7: Blockdiagramm des Systemaufbaus

3.2 Datensatz

Seit 2008 entsteht die Fawn & Meadow Datenbank mit RGB- und Thermalbildern von Rehkitzen und Wiesen. Abb. 8 zeigt typische Thermalbilder dieser Sammlung. Die Datenbank umfasst momentan 103 Wiesen- und 44 Kitz-Thermalbilder. Sie besitzen eine Auflösung von 160 x 120 Pixeln und wurden mit einer Thermalkamera vom Typ E45 der Firma FLIR aus einer Höhe von 1,2 m aufgenommen.

3.3 Ergebnisse und Diskussion

Mit dem Nearest Neighbor Klassifikator liegt die falsch positiv Rate (Rehkitz erkannt, obwohl nicht vorhanden), bestimmt über alle Datensätze der Bilderdatenbank, bei 1,9%, die falsch negativ Rate (Rehkitz übersehen) liegt bei 0,9%. Mittels der Mittelwertanalyse liegt die falsch positiv Rate bei allen drei Mittelwerten bei 4,5%, die falsch negativ Rate liegt beim Median und arithmetischen Mittelwert bei 11,6%. Der quadratische Mittelwert lieferte eine falsch negativ Rate von 10,7%.

Die IR-Kamera kann mit Hilfe des eingebauten Automatic Gain Control (AGC) den Kontrast des Bildes maximieren. Die Grauwerte passen sich also so der Szene an, dass immer auch weiße

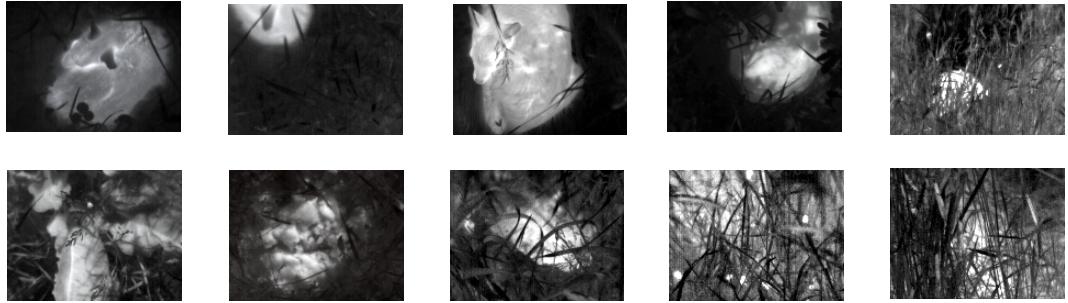


Abb. 8: Thermalbilder aus der Fawn & Meadow Datenbank
oben: Rehkitzbilder, unten: Wiesenbilder

und schwarze Pixel vorhanden sind, unabhängig davon, ob die Temperaturdifferenz der Szene beispielsweise 5 Kelvin oder 50 Kelvin ist. Bemerkenswert ist, dass der FCD-Algorithmus eine sehr hohe Detektionsrate aufweist, auch wenn dieser AGC aktiviert ist und die Grauwerte auf den Bildern ganz unterschiedliche Temperaturwerte darstellen.

Dieses Jahr ist geplant, einen Datensatz an Bildern aus der geplanten Flughöhe von 50 m anzulegen. Dadurch ist es dann möglich das System im realen Einsatz zu testen. Wir erwarten damit ähnliche Ergebnisse wie mit den Thermalbildern aus 1,2m Höhe.

4 Danksagung

Die Autoren danken Dr. Daniele Cerra, Prof. Mihai Datcu und der Firma ISA (Veronika Rupprecht) für ihre hilfreiche Unterstützung. Die dargestellten Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Verbundprojekts „Entwicklung und Erprobung eines Trägersystems mit Sensortechniken zur Auffindung wild lebender Tiere beim Mähen landwirtschaftlicher Flächen - Wildretter“ gefördert (BMBF-Förderkennzeichen 16SV3669).

Literatur

- [CD10] Daniele Cerra and Mihai Datcu. Image retrieval using compression-based techniques. In *8th International ITG Conference on Source and Channel Coding (SCC '10)*, 2010.
- [CID09] Daniele Cerra, Martin Israel, and Mihai Datcu. Parameter-free clustering: Application to fawns detection. volume III, pages 467 – 469, July 2009.
- [Jar02] A. Jarnemo. Roe deer Capreolus capreolus fawns and mowing-mortality rates and countermeasures. *Wildlife Biology*, 8(3):211–218, 2002.
- [ZL78] J. Ziv and A. Lempel. Compression of individual sequences via variable-rate coding. 24(5):530–536, 1978.