

Aufgabe: Wie unterscheidet sich die Freßrate eines Raubvogels von der „overall kill probability“ eines Jagdflugzeugs? Wer ist unter sonst gleichen Bedingungen der effizientere Jäger?

Lösung: Die Freßrate γ_1 aus den Lotka-Volterra-Gleichungen ist definiert als die Zahl der Beutefänge in einem bestimmten Zeitraum. Ein Greifvogel ist natürlich nicht unentwegt auf Beutesuche, sondern nur, wenn er hungrig ist. Maßgeblich für die Freßrate ist daher die aktive Zeit, die dem Beutemachen gewidmet ist. Davon abgezogen werden müssen Ruhezeiten und Verarbeitungszeiten der Beute.

Beim Jagdflugzeug ist für die Auswertung nur diejenige Zeit relevant, in der das Flugzeug konkret im Einsatz auf Zielsuche ist, im allgemeinen die Flugzeit ab Eintritt ins Zielgebiet bis zu dessen Verlassen.

Die erste wichtige Größe ist die sogenannte Koinzidenzrate, die angibt, wann eine örtliche Sichtverbindung zwischen Greif und Beute theoretisch möglich ist, unabhängig davon, ob die Sicht nun durch Hindernisse oder Witterung erschwert wird. Im allgemeinen haben Greifvögel so gute Augen, daß sie bis zum Horizont schauen können. Dies hängt wiederum von ihrer Flughöhe über Grund ab. Wirklich begrenzende Größe ist aber die Reichweite der Augen. Hält sich nun ein Beutetier innerhalb eines Kreises mit dem Radius der Bodenreichweite auf, so liegt Koinzidenz vor. Die Zahl der Koinzidenzen im Laufe des Beutefluges ergibt dann die zeitliche Koinzidenzrate. Innerhalb eines Reviers entspricht dies der Wahrscheinlichkeit für ein Zusammentreffen von Räuber und Beute pro Zeiteinheit. Man kann davon ausgehen, daß der Greifvogel nach dem ersten Beutefang seine „Mission“ abbricht, so daß sich die Rate rein aus der durchschnittlichen Zeit ergibt, die er für das erste erfolgreiche Zusammentreffen benötigt. Diese Zeit ist um so kürzer, je mehr potentielle Beutetiere sich in seinem Revier aufhalten.

Bei einem Jagdflugzeug mit Fähigkeit zur Luft-Boden-Erkennung ist der Koinzidenzkreis ein fiktiver Kreis mit dem Radius der Bodenreichweite. Das Revier ist hier das Missionsgebiet. Der Koinzidenzkreis (genauer die Koinzidenzkreisfläche) ist mathematisch gesehen die Schnittmenge aller Punkte auf der Erdoberfläche, die sich aus dem Schnitt einer Kugel mit Mittelpunkt Jagdflugzeug und der als Ebene angenommenen Erdoberfläche ergibt.

Nicht alle Beutetiere, die sich innerhalb des Koinzidenzkreises des Raubvogels aufhalten, werden als solche auch entdeckt. Dies begründet eine sogenannte Entdeckungswahrscheinlichkeit all derer aus der Gesamtmenge aller örtlich anwesenden Beutetiere, die tatsächlich entdeckt werden. Die Koinzidenzrate muß also mit der Entdeckungswahrscheinlichkeit multipliziert werden. Da Beutetiere meist gut getarnt sind, ist die Entdeckung des Raubvogels darauf fokussiert, was sich gerade bewegt.

Beim Jagdflugzeug definiert man ersatzweise ein Kriterium, ab wann etwas als entdeckt gelten kann. Dieses hängt meist von der Zielgröße und der Entfernung zum Ziel ab, bei bildgebenden Sensoren von der Zahl der Linienpaare, die man darauf abbilden kann.

In der Regel heißt Entdeckung aber noch nicht Erkennung. Der Greifvogel muß schließlich wissen, ob das entdeckte Tier auch in sein Beuteschema paßt, und er muß es dazu erkennen können, was in der Regel nur dann möglich ist, wenn er hinfliegt und nachschaut.

Beim Jagdflugzeug verhält es sich nicht anders, eine Erkennung erfordert höhere Ansprüche als das bloße Entdecken. Entsprechend ist der Umkreis, innerhalb dessen eine Erkennung möglich ist, kleiner als der für Entdeckung. Die theoretische Sensor-Erkennungswahrscheinlichkeit ist im Verhältnis des Quadrats der Radien kleiner als die Entdeckungswahrscheinlichkeit. Wird die Erkennung nicht vom Menschen, sondern automatisch von einem Bildverarbeitungsprogramm vorgenommen, so verringert sich die Erkennungswahrscheinlichkeit noch zusätzlich um die Falscherkennungsrate dieser Software.

Indem sich der Greifvogel also seinem Beutetier annähert und dieses im weiteren verfolgt, kann es passieren, daß sich ihm das Beutetier wieder entzieht und er somit seine Zielverfolgung abbrechen muß. Die Zahl der erfolgreichen Zielverfolgungen im Verhältnis zu den begonnenen begründet also eine sogenannte Zielverfolgungswahrscheinlichkeit, die ebenfalls mit der Koinzidenzrate multipliziert werden muß. Die Zielverfolgung endet beim Greifvogel im Prinzip erst, wenn er seine Beute mit den Fängen greift, zumal man davon ausgehen kann, daß sie ihm danach auch wirklich gehört. Bei Tieren, die sich aktiv wehren können, mag das anders sein.

Beim Jagdflugzeug spricht man von einer Track-Erfolgswahrscheinlichkeit, die bedeutend anwächst, wenn man verschiedene Tracks zu einem einzigen fusioniert, womit man das Risiko, daß alle Tracks auf einmal verlorengehen, erheblich minimiert. Die Trackdauer wird bis zu dem Zeitpunkt berücksichtigt, an dem die Waffe ausgelöst wird.

Ein Greifvogel ist zufrieden, wenn er seine Beute erkannt hat, denn er frißt keinen Artgenossen. Er muß also seine Beute nicht vorher identifizieren. Ihm reicht es, wenn er eine Maus als Maus erkennt.

Beim Jagdflugzeug muß man die Bedrohung indes klar identifizieren, ehe man sie bekämpfen darf, denn man muß wissen, ob es sich um ein gegnerisches oder ein zu verwechselndes eigenes Ziel handelt. Hier wird also gefordert, aus der Zahl der erkannten Ziele diejenigen auszuwählen, die auch identifiziert werden können. Die Koinzidenzrate muß also auch mit der Identifizierungswahrscheinlichkeit multipliziert werden. Die dahinter sich verbergende Fähigkeit nennt man Freund-Feind-Erkennung.

Der Greifvogel schlägt seine Beute, sowie er sie gepackt hat, die Wahrscheinlichkeit, daß sie ihm danach noch entkommt, ist gleich null. Seine Tötungsaussicht ist also gleich eins, es muß nichts mehr von der Koinzidenzrate abgezogen werden, was diese verringern könnte. Über das Abjagen der Beute reden wir hier nicht.

Ein Jagdflugzeug bedient sich zur Bekämpfung von Zielen in der Regel Fernwirkungswaffen, die eine gewisse Trefferwahrscheinlichkeit besitzen, die z.B. durch Abwehr- oder Täuschungsmaßnahmen des Gegners erniedrigt werden kann. Diese muß daher mit der Koinzidenzrate multipliziert werden, wobei die Trefferwahrscheinlichkeit kein Analogon auf seiten des Greifvogels hat. Das Gesamtergebnis multiplikativer Wahrscheinlichkeiten nennt man bei einem Kampfflugzeug „overall kill probability“, welche die vollständige Kette missionsrelevanter Aktivitäten beschreibt und als letztes Glied die vollständige oder teilweise Vernichtung des Ziels hinzunimmt, analog zum Schlagen der Beute des Greifvogels.

Formelmäßig läßt sich das Ergebnis wie folgt zusammenfassen:

$$\gamma_1 = \dot{P}_{\text{coinc}} \cdot P_{\text{det}} \cdot P_{\text{track}} \cdot P_{\text{rec}} \cdot P_{\text{ident}} \cdot P_{\text{attack}}$$

Allgemein gilt zur Herleitung dieser Beziehung:

$$\gamma_1 = \dot{P}_0 \prod_{i=1}^n P(A_{i-1} | A_i),$$

wobei

$$A_i \in \{\text{coinc, det, track, rec, ident, attack}\}$$

und

$$P(A_i | A_{i-1}) = \frac{P(A_{i-1} \cap A_i)}{P(A_{i-1})}$$

die bedingte Wahrscheinlichkeit von A_i unter der Bedingung A_{i-1} ist.

Das jeweils nachfolgende Ereignis A_i ist aber vom vorhergehenden A_{i-1} unabhängig, d.h.

- ob sich ein Ziel im Umkreis befindet, beeinflusst dies in keiner Weise die Wahrscheinlichkeit, daß es auch entdeckt werden kann,
- ob ein Ziel entdeckt werden kann, beeinflusst dies in keiner Weise die Wahrscheinlichkeit, daß es auch verfolgt werden kann,
- ob ein Ziel verfolgt werden kann, beeinflusst dies in keiner Weise die Wahrscheinlichkeit, daß es auch erkannt werden kann,
- ob ein Ziel erkannt werden kann, beeinflusst dies in keiner Weise die Wahrscheinlichkeit, daß es auch identifiziert werden kann, und
- ob ein Ziel identifiziert werden kann, beeinflusst dies in keiner Weise die Wahrscheinlichkeit, daß es auch bekämpft werden kann.

Die Multiplikationsregel lautet dann:

$$P(A_{i-1} \cap A_i) = P(A_{i-1})P(A_i),$$

woraus folgt

$$P(A_i | A_{i-1}) = P(A_i),$$

so daß

$$\gamma_1 = \dot{P}_0 \prod_{i=1}^n P(A_i).$$

Mit der Festsetzung $n \equiv 5$ und

$$P_0 \equiv P_{\text{coinc}}, \quad P_1 \equiv P_{\text{det}}, \quad P_2 \equiv P_{\text{track}}, \quad P_3 \equiv P_{\text{rec}}, \quad P_4 \equiv P_{\text{ident}}, \quad P_5 \equiv P_{\text{attack}}$$

folgt sofort die Rate γ_1 . Diese Größe kann sehr klein werden, besonders wenn die Auswahl erlaubter Ziele stark eingeschränkt ist. Geht es also um eine abschließende Beurteilung der Frage, wer unter sonst gleichen Bedingungen der erfolgreichere Jäger ist, so ist die Frage eindeutig mit „Der Raubvogel“ zu beantworten, denn bei diesem entfallen die Identifizierungs- und Trefferwahrscheinlichkeit, und er verursacht keine Kollateralschäden, womit seine Freßrate effizienter ist als die eines Kampfflugzeugs.