



Πανεπιστήμιο
Αιγαίου

Ανοικτά
Ακαδημαϊκά
Μαθήματα



Δυναμική πληθυσμών

2. Εκτίμηση αφθονίας

Κώστας Θεοδώρου, Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Άδειες Χρήσης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

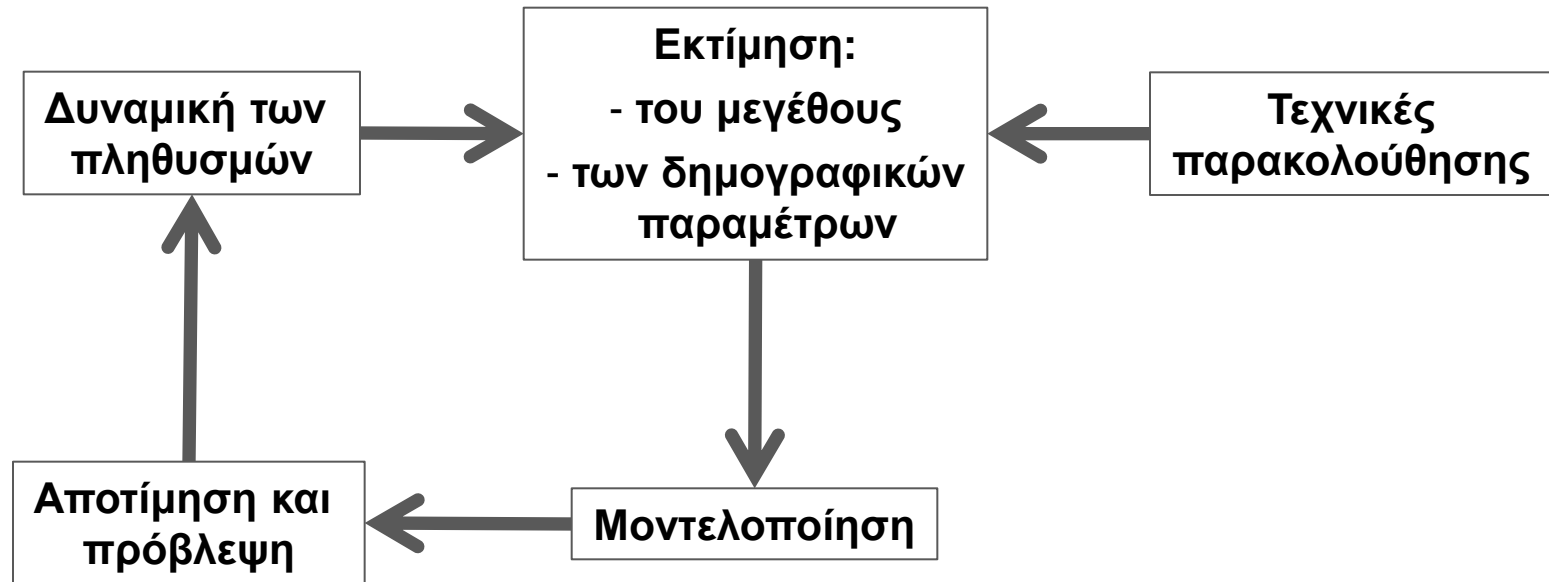
Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Δυναμική των πληθυσμών



Εκτίμηση της αφθονίας

N : μέγεθος του πληθυσμού

C : ο αριθμός των καταμετρημένων ατόμων

p : ανιχνευσιμότητα

a : το ποσοστό της επιφάνειας που μελετήθηκε

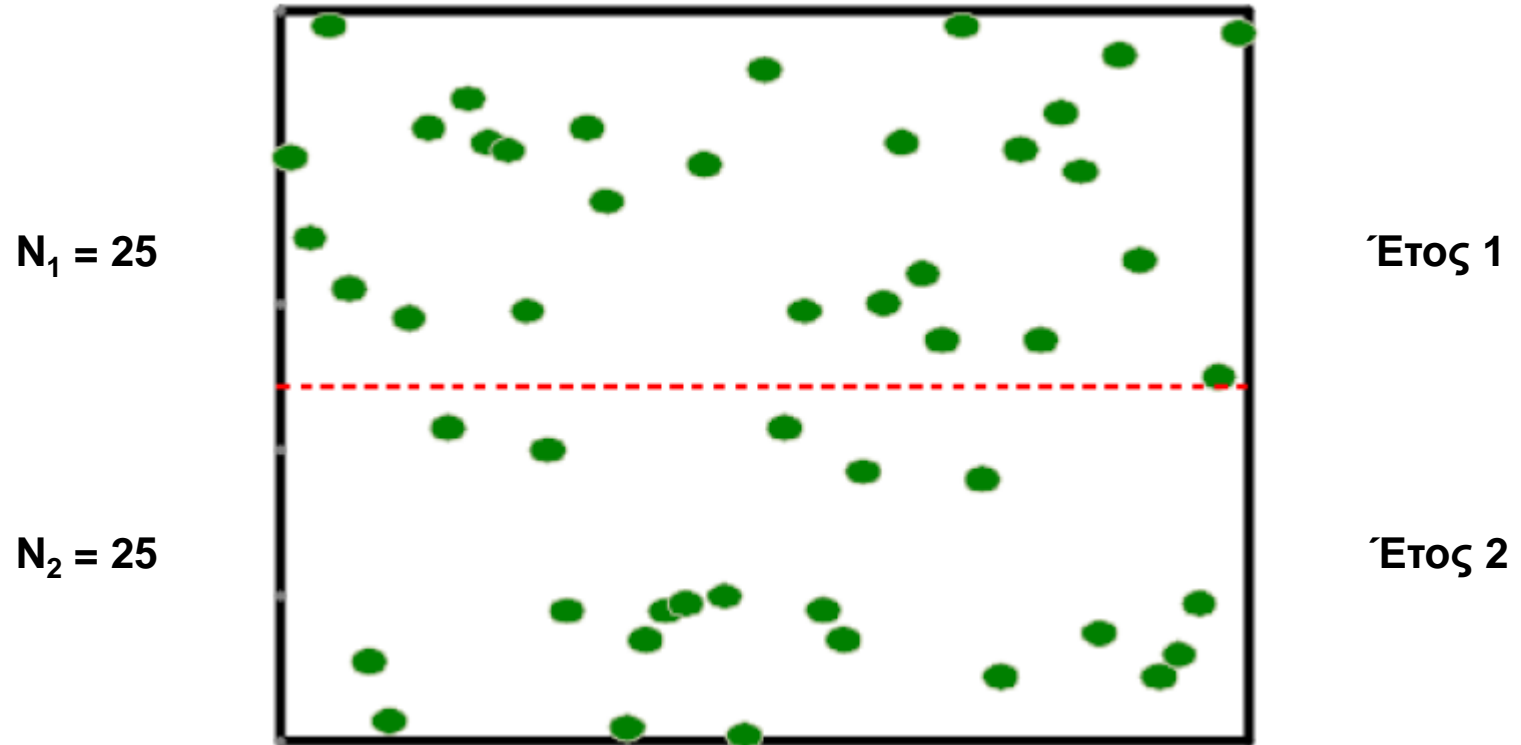
$$N = \frac{C}{ap}$$

Αλλά :

- Η ανιχνευσιμότητα είναι σπανίως γνωστή. Άρα, πρέπει να εκτιμηθεί.
- Η ανιχνευσιμότητα ποικίλει ανάλογα με το έτος, τον τύπο του ενδιαιτήματος,...

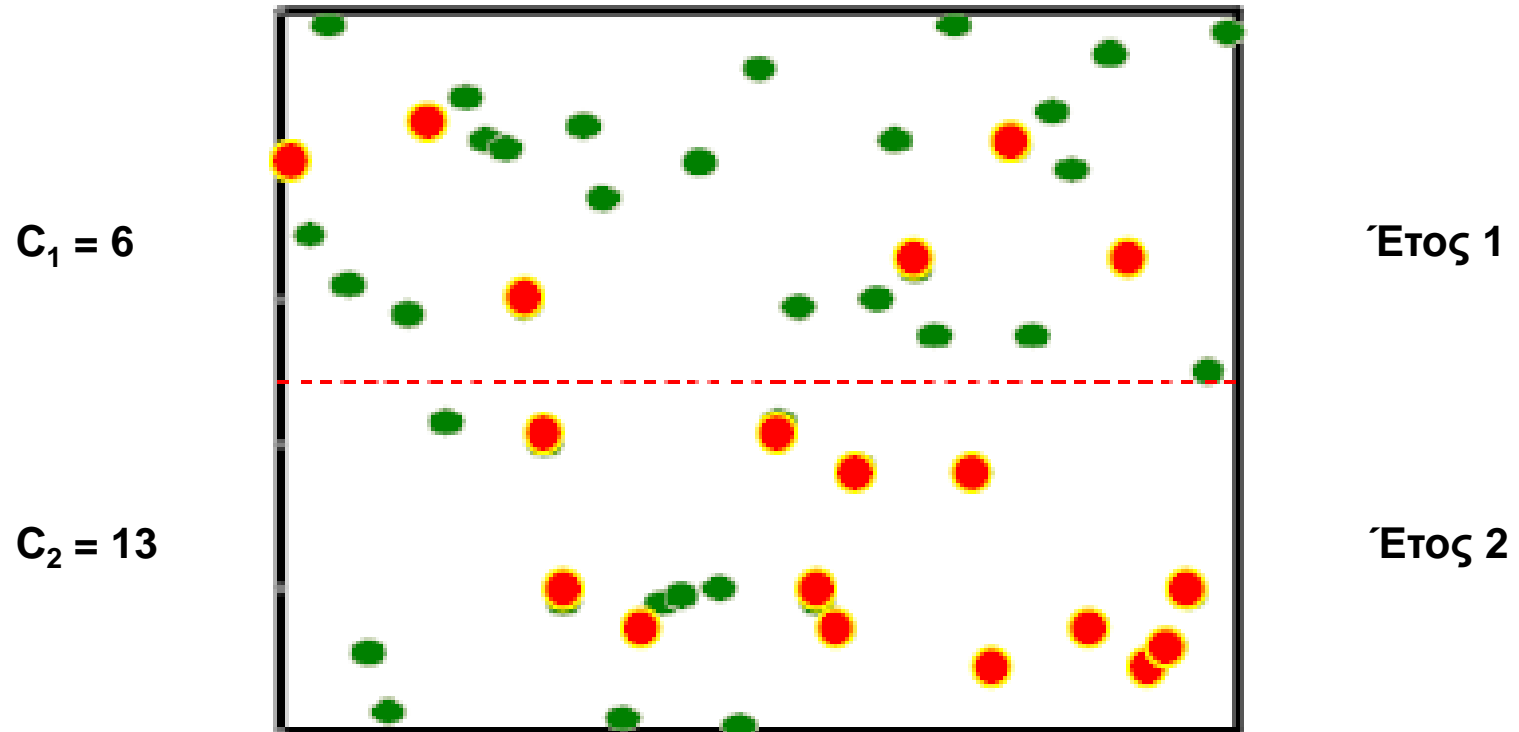
Εκτίμηση της αφθονίας

Μεταβλητή ανιχνευσιμότητα



Εκτίμηση της αφθονίας

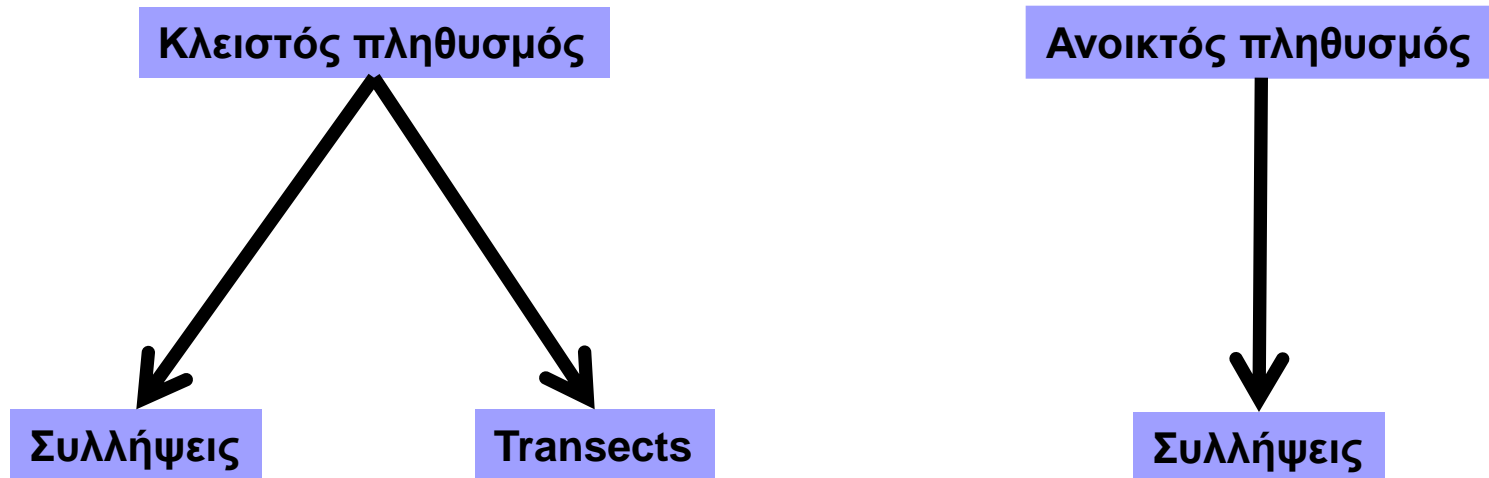
Μεταβλητή ανιχνευσιμότητα



$$\frac{\widehat{N}_1}{\widehat{N}_2} = \frac{C_1}{C_2} \approx 2 \quad ?$$

Εκτίμηση της αφθονίας

- Η ανιχνευσιμότητα ποικίλει ανάλογα με το έτος, τον τύπο του ενδιαιτήματος...
- Η ανιχνευσιμότητα είναι σπανίως γνωστή. Άρα, πρέπει να εκτιμηθεί.

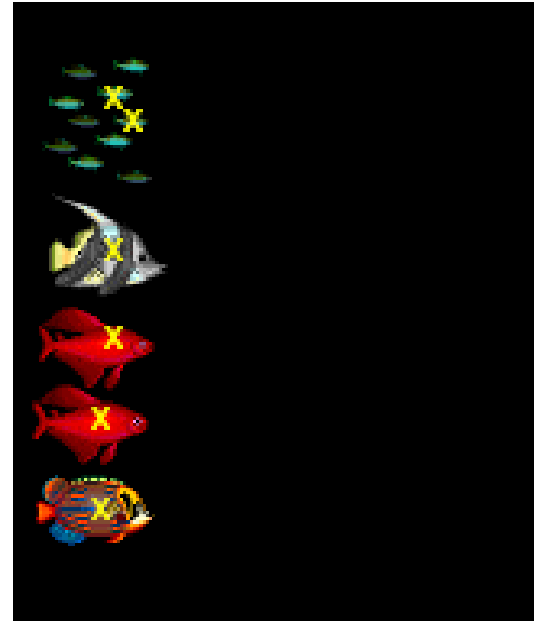
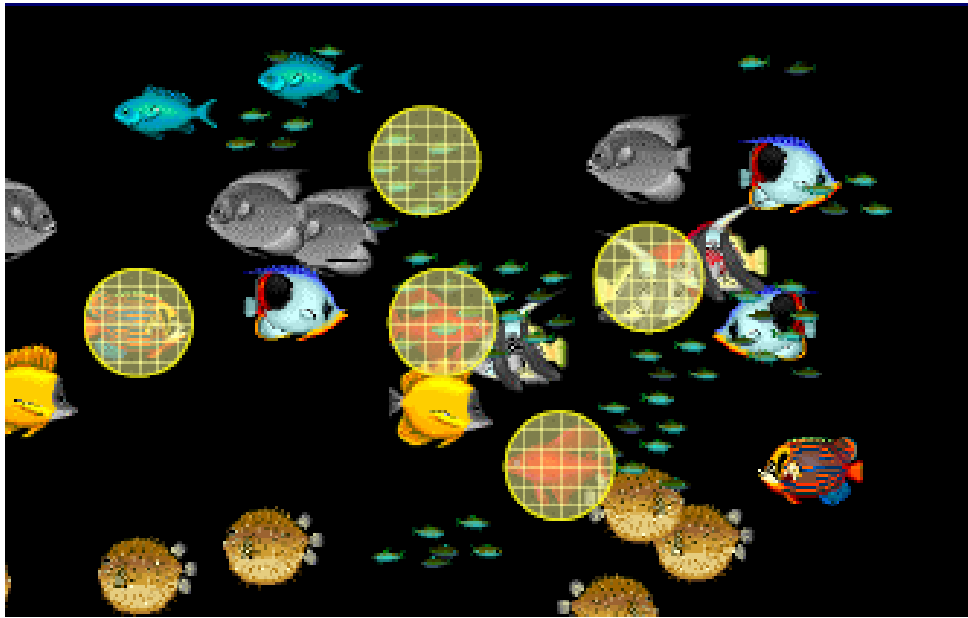


- Κλειστός πληθυσμός:
υποθέτουμε ότι ο πληθυσμός δεν αλλάζει δημογραφικά κατά τη διάρκεια της παρατήρησης (δηλ. δεν υπάρχουν γεννήσεις, θάνατοι, εποίκηση, αποίκηση)

Εκτίμηση της αφθονίας

Αφθονία κλειστών πληθυσμών –Τεχνικές σύλληψης-επανασύλληψης

Σύλληψη n_1 ψαριών και σήμανση



Ποσοστό σημαδεμένων ψαριών = n_1 / N

Εκτίμηση της αφθονίας

Αφθονία κλειστών πληθυσμών –Τεχνικές σύλληψης-επανασύλληψης

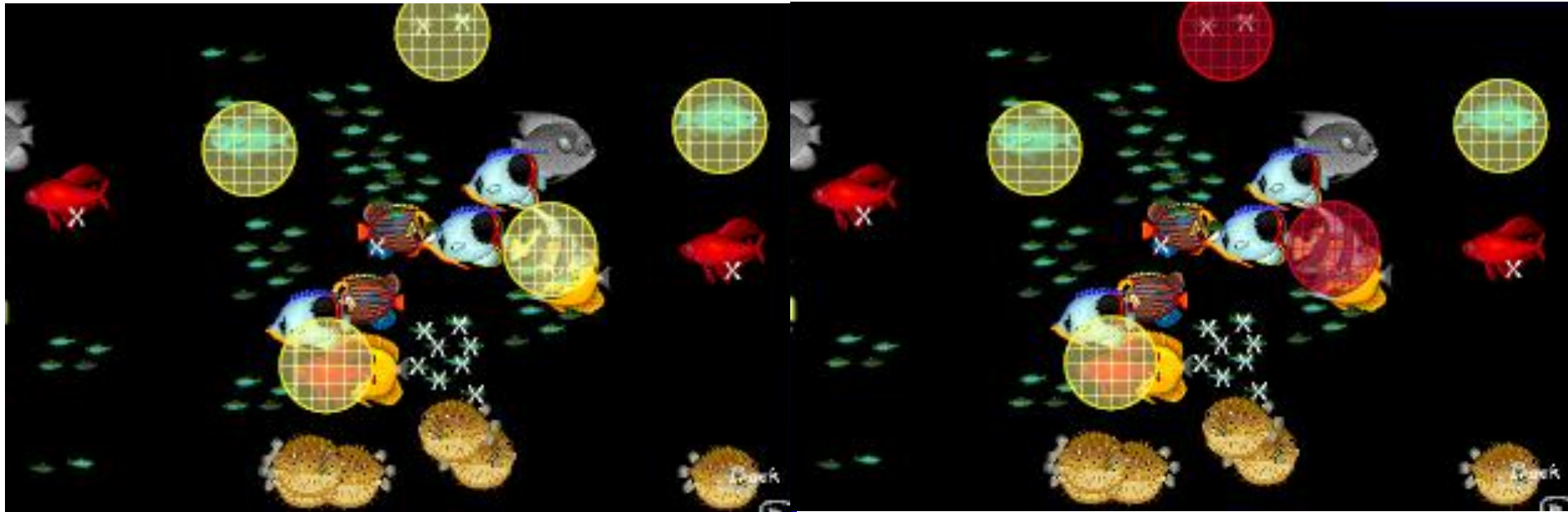
Επανάθεση του δείγματος



Εκτίμηση της αφθονίας

Αφθονία κλειστών πληθυσμών –Τεχνικές σύλληψης-επανασύλληψης

Σύλληψη n_2 ψαριών εκ των οποίων m_2 είναι ήδη σημαδεμένα



$$\text{Ποσοστό σημαδωμένων ψαριών} = m_2 / n_2$$

Εκτίμηση της αφθονίας

Αφθονία κλειστών πληθυσμών –Τεχνικές σύλληψης-επανασύλληψης

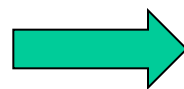
Αν η πιθανότητα σύλληψης είναι η ίδια για τα δύο δείγματα:

Δείκτης Lincoln-Petersen :

$$\hat{N} = \frac{n_1 n_2}{m_2}$$

Παράδειγμα: Πάπιες στις Η.Π.Α. (Lincoln 1930)

- n_1 ($\sim 5 \times 10^6$) δακτυλιωμένα πουλιά
- n_2 θανατωμένα πουλιά
- m_2 βρέθηκαν με δακτυλίδια
- 12% των θανατωμένων πουλιών με δακτυλίδια



$$\hat{N} = 5 \times 10^6 \times \frac{100}{12} = 42 \times 10^6$$

Εκτίμηση της αφθονίας

Μέθοδοι σήμανσης:

Σημάδια στα αυτιά:



Δακτυλίδια:



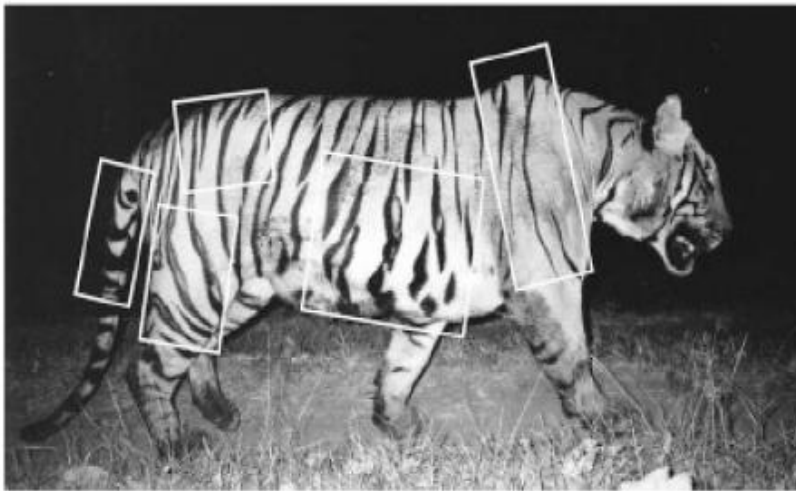
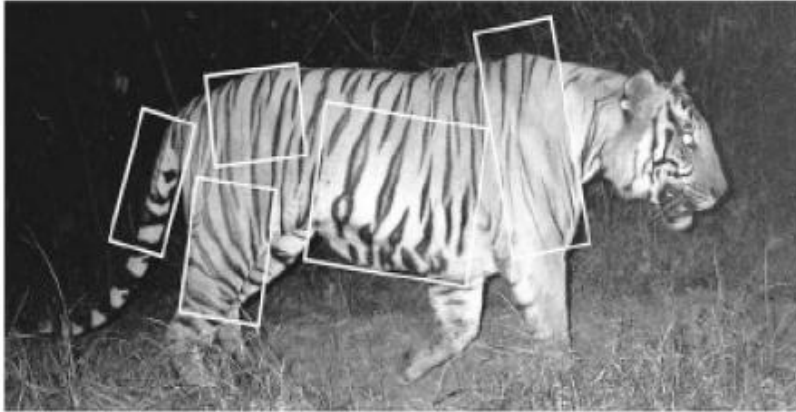
Passive integrated transponder (PIT) tags:



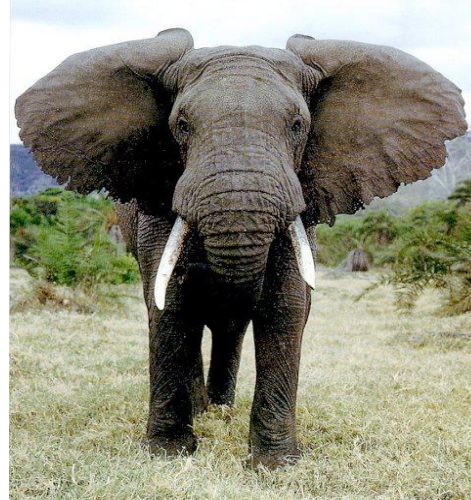
Εκτίμηση της αφθονίας

Μέθοδοι σήμανσης:

Φωτογραφικές παγίδες:



Γενετικές μέθοδοι:



Εκτίμηση της αφθονίας

Σύλληψη-σήμανση-επανασύλληψη – Ο δείκτης Lincoln - Petersen:

Υποθέσεις:

- 1. Ο πληθυσμός είναι κλειστός**
- 2. Όλα τα άτομα έχουν την ίδια πιθανότητα να συλληφθούν**
- 3. Δεν υπάρχουν απώλειες σήμανσης**

Εκτίμηση της αφθονίας

Πηγές ετερογένειας στα ποσοστά σύλληψης:

- Χρόνος (t) (κλιματικές συνθήκες, προσπάθεια)
 - Συμπεριφορά (b) (« trap happy » et « trap shy »)
 - Ετερογένεια των ατόμων (h) (φύλο, ηλικία, ...)
-
- Για να ελέγξουμε τις υποθέσεις, μας χρειάζονται περισσότερα από δύο επεισόδια συλλήψεων

Εκτίμηση της αφθονίας

□ Σταθερό μοντέλο, M_0 :

- Σταθερή πιθανότητα σύλληψης για όλα τα άτομα
- 2 παράμετροι που πρέπει να εκτιμηθούν (N, p)
- Ούτε ετερογένεια ούτε επίδραση του χρόνου

□ Μοντέλο με επίδραση του χρόνου, M_t :

- Η πιθανότητα σύλληψης μεταβάλλεται με το χρόνο
- $K+1$ παράμετροι που πρέπει να εκτιμηθούν ($N, p_i, i = 1, \dots, K$)

□ Μοντέλο με επίδραση της σύλληψης, M_b :

- Η πιθανότητα της 1^{ης} σύλληψης (p_c) διαφέρει από την πιθανότητα επανασύλληψης (p_r)
- 3 παράμετροι που πρέπει να εκτιμηθούν (N, p_c, p_r)

Εκτίμηση της αφθονίας

□ Μοντέλο με επίδραση της ετερογένειας των ατόμων, M_h :

- Κάθε άτομο έχει μια μοναδική πιθανότητα σύλληψης
- $N + 1$ παράμετροι που πρέπει να εκτιμηθούν ($N, p_i, i = 1, \dots, n$)
- Πολλές παράμετροι...

□ Μοντέλο με επίδραση του χρόνου και της σύλληψης, M_{tb}

($N, p_{ci}, p_{ri}, i = 1, \dots, K$)

□ Μοντέλο με επίδραση της ετερογένειας και του χρόνου, M_{th}

($N, p_{ij}, p_i = 1, \dots, n, p_j, j = 1, \dots, K$)

□ Μοντέλο με επίδραση της σύλληψης και της ετερογένειας, M_{bh}

($N, p_{ci}, p_{ri}, i = 1, \dots, n$)

□ Μοντέλο με επίδραση της σύλληψης, του χρόνου και της ετερογένειας, M_{bth}

($N, p_{cij}, p_{rij}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, K$)

Εκτίμηση της αφθονίας

Possible Capture Histories
and Associated Probabilities^a

Capture history	Probability		
	M_0^b	M_t^c	M_b^d
111	p^3	$p_1 p_2 p_3$	$p_c p_r^2$
110	$p^2(1-p)$	$p_1 p_2(1-p_3)$	$p_c p_r(1-p_r)$
101	$p^2(1-p)$	$p_1(1-p_2)p_3$	$p_c p_r(1-p_r)$
100	$p(1-p)^2$	$p_1(1-p_2)(1-p_3)$	$p_c(1-p_r)^2$
011	$p^2(1-p)$	$(1-p_1)p_2 p_3$	$(1-p_c)p_c p_r$
010	$p(1-p)^2$	$(1-p_1)p_2(1-p_3)$	$(1-p_c)p_c(1-p_r)$
001	$p(1-p)^2$	$(1-p_1)(1-p_2)p_3$	$(1-p_c)^2 p_c$
000	$(1-p)^3$	$(1-p_1)(1-p_2)(1-p_3)$	$(1-p_c)^3$

^a Under different models in a three-sample capture-recapture study of a closed population.

^b p = capture probability.

^c p_j = capture probability for sampling period j .

^d p_c = capture probability for unmarked animals; p_r = capture probability for marked (recaptured) animals.

Εκτίμηση της αφθονίας

Ανοικτός πληθυσμός – Μοντέλο Cormack – Jolly – Seber :

- Το μοντέλο CJS δίνει εκτιμήσεις των ρυθμών επιβίωσης και της πιθανότητας ανίχνευσης
- Εκτίμηση της αφθονίας N_j στο επεισόδιο j
= αριθμός των ατόμων που παρατηρήθηκαν / πιθανότητα ανίχνευσης

$$\hat{N}_j = \frac{n_j}{\hat{p}_j}$$

Αρ. ατόμων που συνελήφθησαν στο επεισόδιο j

Η πιθανότητα ανίχνευσης εκτιμάται προσαρμόζοντας το μοντέλο CJC

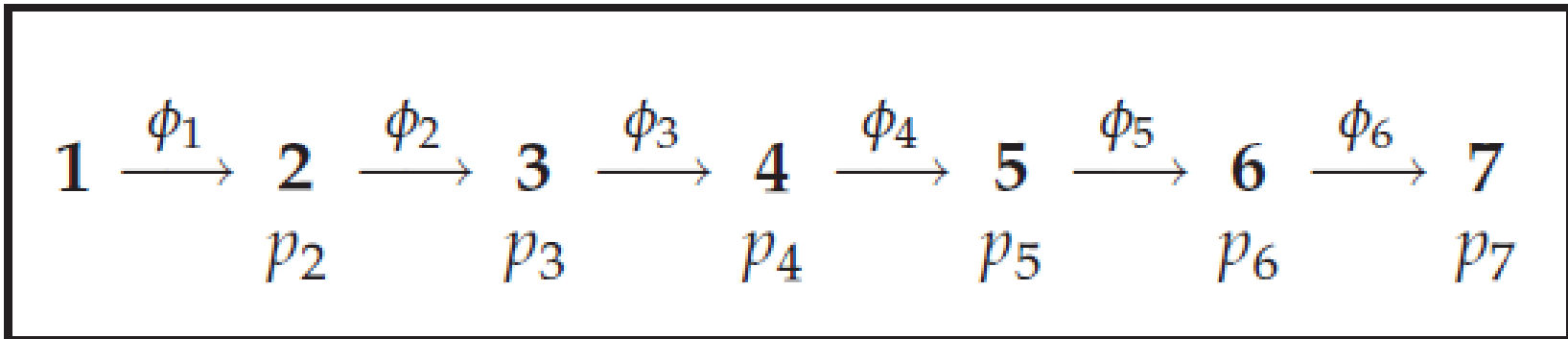
$$n_j = u_j + m_j$$

Αρ. σημαδεμένων ατόμων που συλλαμβάνονται στο επεισόδιο j

Αρ. ασημάδευτων ατόμων που συλλαμβάνονται στο επεισόδιο j

Εκτίμηση των ρυθμών επιβίωσης και σύλληψης

Ανοικτός πληθυσμός – Μοντέλο Cormack – Jolly – Seber:



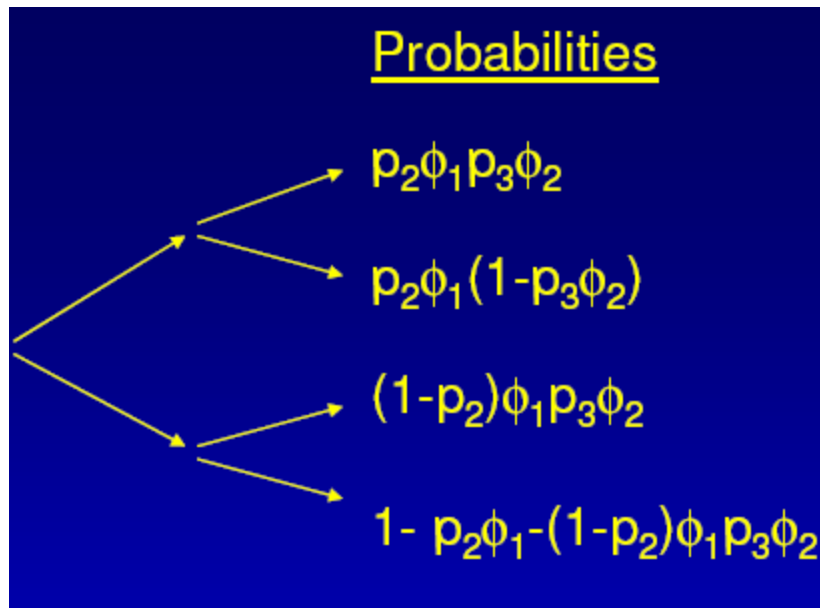
ϕ_t : φαινομενικός ρυθμός επιβίωσης: η πιθανότητα ένα άτομο να επιβιώσει και να μην μεταναστεύσει μεταξύ του χρόνου t και $t + 1$

p_t : πιθανότητα ανίχνευσης του ατόμου

Εκτίμηση των ρυθμών επιβίωσης και σύλληψης

Ανοικτός πληθυσμός – Μοντέλο Cormack – Jolly – Seber:

Παράδειγμα: 3 περίοδοι συλλήψεων



<i>capture history</i>	<i>frequency</i>
111	7
110	13
101	6
100	29

➤ Ποια είναι η πιθανότητα να έχουμε τον παρατηρούμενο αριθμό ατόμων;

Εκτίμηση των ρυθμών επιβίωσης και σύλληψης

Ανοικτός πληθυσμός – Μοντέλο Cormack – Jolly – Seber:

Παράδειγμα: 3 περίοδοι συλλήψεων

- Μια πολυωνυμική πιθανότητα:

$$\mathcal{L} = (\phi_1 p_2 \phi_2 p_3)^{N_{(111)}} \times (\phi_1 p_2 (1 - \phi_2 p_3))^{N_{(110)}} \times (\phi_1 (1 - p_2) \phi_2 p_3)^{N_{101}} \\ \times (1 - \phi_1 p_2 - \phi_1 (1 - p_2) \phi_2 p_3)^{N_{(100)}}$$

Όπου:

$$\ln \mathcal{L}(\phi_1, p_2, \phi_2, p_3) = 7 \ln(\phi_1 p_2 \phi_2 p_3) + 13 \ln(\phi_1 p_2 (1 - \phi_2 p_3)) + 6 \ln(\phi_1 (1 - p_2) \phi_2 p_3) \\ + 29 \ln(1 - \phi_1 p_2 - \phi_1 (1 - p_2) \phi_2 p_3)$$

- Ψάχνουμε τα ϕ_i και p_i που μεγιστοποιούν την παραπάνω συνάρτηση

Εκτίμηση των ρυθμών επιβίωσης και σύλληψης

Παράδειγμα: 3 περίοδοι συλλήψεων – ϕ και p σταθερά

<i>encounter history</i>	<i>probability</i>	<i>capture history</i>	<i>frequency</i>
111	$\phi p \phi p$	111	7
110	$\phi p (1 - \phi p)$	110	13
101	$\phi (1 - p) \phi p$	101	6
100	$1 - \phi p - \phi (1 - p) \phi p$	100	29

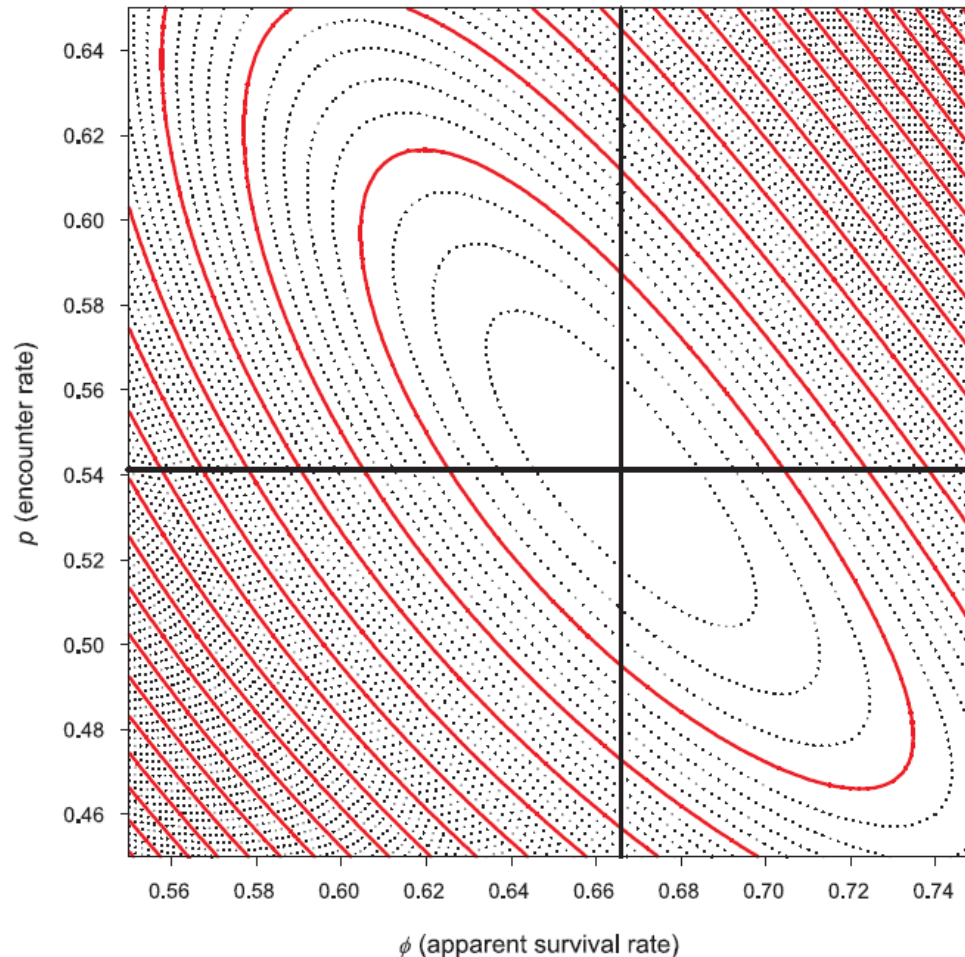
- Μια πολυωνυμική πιθανότητα:

$$\ln \mathcal{L}(\phi, p) = 7 \ln(\phi p \phi p) + 13 \ln(\phi p (1 - \phi p)) + 6 \ln(\phi (1 - p) \phi p) + 29 \ln(1 - \phi p - \phi (1 - p) \phi p)$$

- Ψάχνουμε τα ϕ_i και p_i που μεγιστοποιούν την παραπάνω συνάρτηση

Εκτίμηση των ρυθμών επιβίωσης και σύλληψης

Παράδειγμα: 3 περίοδοι συλλήψεων – ϕ και ρ σταθερά
Ο χώρος των πιθανοτήτων



Η μέγιστη πιθανοφάνεια αντιστοιχεί σε $\phi = 0.665$ και $\rho = 0.542$

Εκτίμηση των ρυθμών επιβίωσης και σύλληψης

Παράδειγμα: 3 περίοδοι συλλήψεων

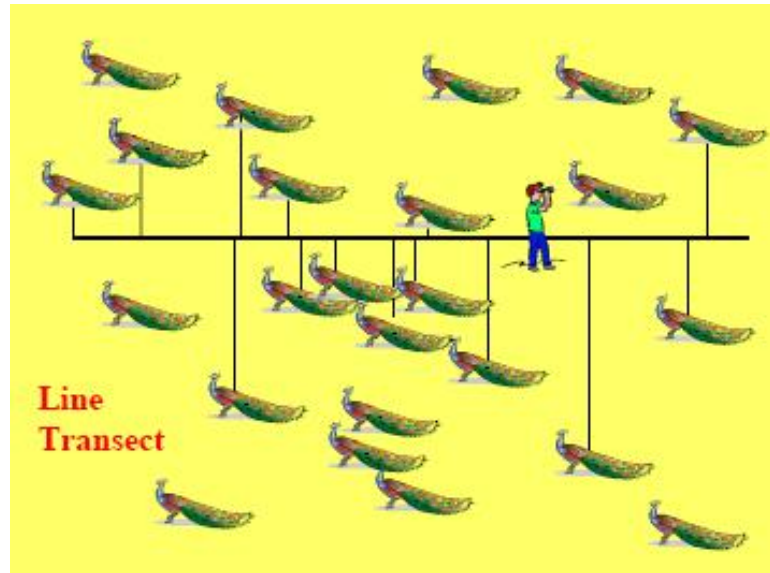
Μοντέλο όπου τα φ και p εξαρτώνται από το χρόνο: $\mathcal{L} = -65.035$

Μοντέλο όπου τα φ και p είναι σταθερά: $\mathcal{L} = -65.041$

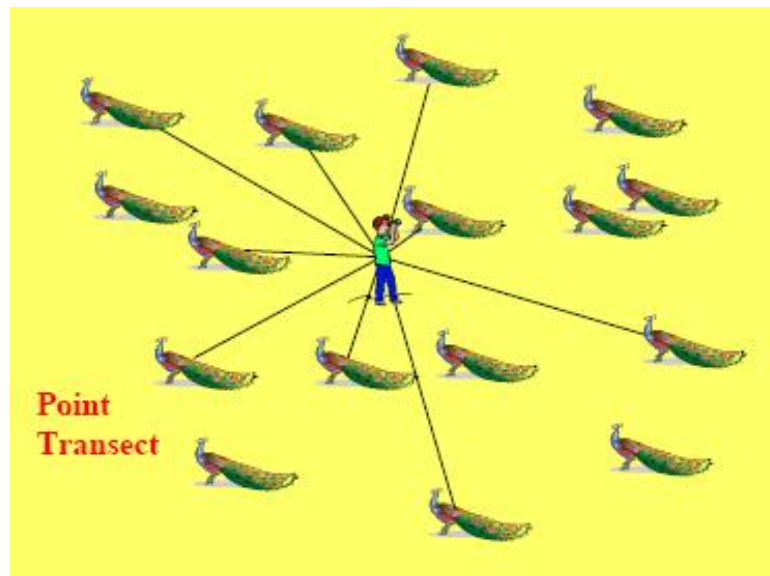
Ποιο μοντέλο να διαλέξουμε;;;

Εκτίμηση της αφθονίας – Δειγματοληψία από απόσταση

Line transects:



Point transects:



Εκτίμηση της αφθονίας – Δειγματοληψία από απόσταση

Μέθοδοι δειγματοληψίας από απόσταση χρησιμοποιούνται σε:

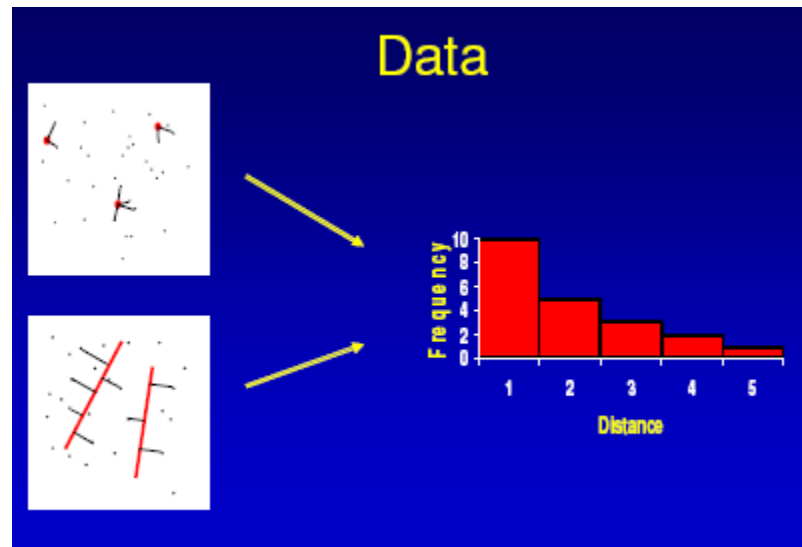
- Πτηνά**
- Θηλαστικά, ιδίως θαλάσσια**
- Ερπετά**
- Ψάρια**

Αλλά ακόμη και για φωλιές, λαγούμια,...

Εκτίμηση της αφθονίας – Δειγματοληψία από απόσταση

Οι αποστάσεις της παρατήρησης – Δείκτες ανιχνευσιμότητας:

- Η ανίχνευση είναι ατελής
(π.χ. όσο πιο μακριά είναι τα άτομα τόσο πιο δύσκολα ανιχνεύονται)
- Οι αποστάσεις στις οποίες έχουν γίνει οι παρατηρήσεις δίνουν, λοιπόν, πληροφορίες για την ικανότητα ανίχνευσης των ατόμων



Εκτίμηση της αφθονίας – Δειγματοληψία από απόσταση

Οι αποστάσεις της παρατήρησης – Δείκτες ανιχνευσιμότητας:

- Αν ενσωματώσουμε την ατελή παρατήρηση, η πυκνότητα του πληθυσμού μπορεί να εκτιμηθεί ως:

$$\hat{D} = \frac{n}{a\hat{P}_a}$$

Αρ. παρατηρημένων ατόμων

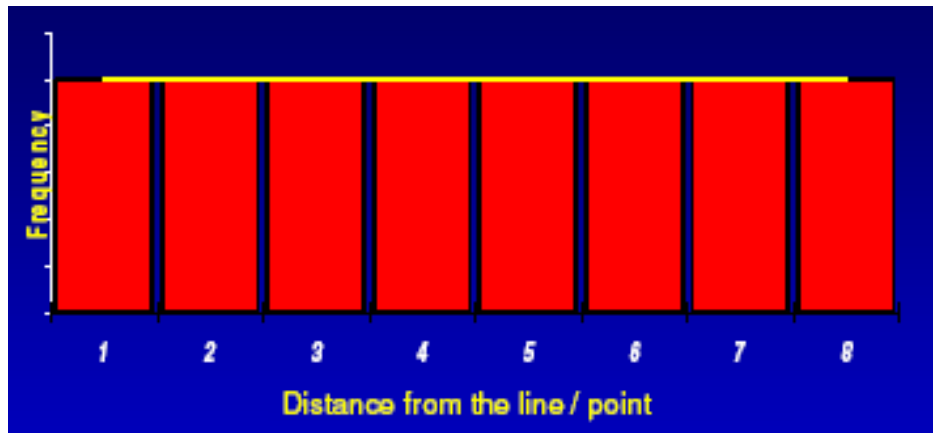
Επιφάνεια δειγματοληψίας

Πιθανότητα ανίχνευσης

- Κεντρικό ερώτημα στη δειγματοληψία από απόσταση: η εκτίμηση της πιθανότητας ανίχνευσης, P_a

Εκτίμηση της αφθονίας – Δειγματοληψία από απόσταση

$$\hat{D} = \frac{n}{a\hat{P}_a}$$



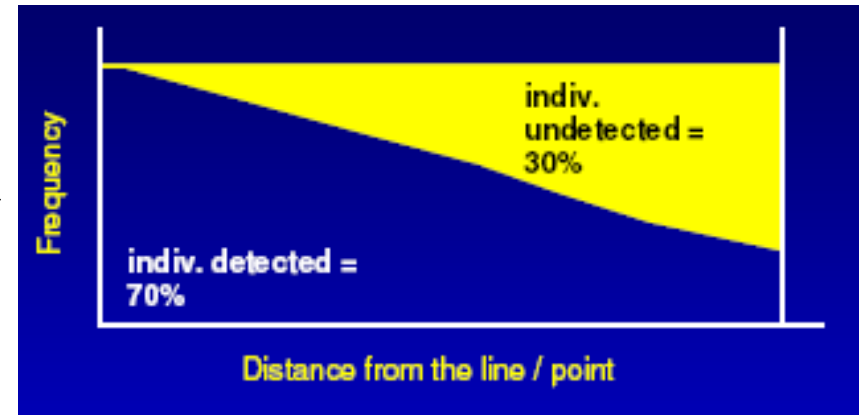
Ανιχνεύουμε όλα τα άτομα



$P_a = 1$

Εκτίμηση της αφθονίας – Δειγματοληψία από απόσταση

$$\hat{D} = \frac{n}{a\hat{P}_a}$$



Υποθέτουμε ότι ανιχνεύουμε το 70% των ατόμων ➡ $P_a = 0.7$

Εκτίμηση της αφθονίας – Δειγματοληψία από απόσταση

Οι υποθέσεις της δειγματοληψίας από απόσταση:

1. Τα άτομα, που είναι πάνω στη γραμμή ή στο σημείο, ανιχνεύονται όλα, $P(0) = 1$.
2. Τα άτομα ανιχνεύονται στην αρχική τους θέση πριν μετακινηθούν λόγω της παρουσίας του παρατηρητή.
3. Οι αποστάσεις μετρώνται με ακρίβεια.