



Πανεπιστήμιο
Αιγαίου

Ανοικτά
Ακαδημαϊκά
Μαθήματα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΣΠ

Διευθυντής: καθηγητής Ι. Ν. Χατζόπουλος



Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση (326Ε)

Καθηγητής Ιωάννης Ν. Χατζόπουλος

ihat@aegean.gr

http://www.env.aegean.gr/labs/Remote_sensing/Remote_sensing.htm



Διάλεξη-04

Ηλεκτροοπτικοί ανιχνευτές

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.



Ηλεκτροπτικοί Ανιχνευτές

- **Η θεωρία περιλαμβάνει:** Ηλεκτροπτικοί αισθητήρες.
- Ο ανιχνευτής: Θερμικοί ανιχνευτές, ανιχνευτές φωτονίων.
- Ενέργεια ΗΜΑ. Ικανότητα απόκρισης.
- Μέτρα της συμπεριφοράς των ανιχνευτών.
- Εικονοληπτικά συστήματα. Συστήματα σάρωσης γραμμών.
- Στιγμιαίο οπτικό πεδίο εδάφους GIFOV.
- Λωριδοποίηση. Συστήματα διανυσματικής καταγραφής.
- Η χρωματική διάταξη φίλτρων τύπου Bayer.
- Ψηφιακές Τιμές DN (Digital Numbers) ή Τιμές αρίθμησης CN (Count Values).
- Παθητικά και ενεργητικά συστήματα, συστήματα Radar. Κατά μήκος της τροχιάς σάρωση εδάφους. Σύστημα οπτικομηχανικής σάρωσης.
- **Το εργαστήριο περιλαμβάνει:** Στέρεο όραση στην οθόνη Η/Υ με το Ilwis

Ηλεκτροπτικοί αισθητήρες

(electro-optical sensors) μετασχηματίζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης σε ανιχνεύσιμο ηλεκτρικό σήμα.

Παραδοσιακοί αισθητήρες → φωτογραφικά γαλακτώματα των φιλμ.

(α) καταγράφουν

(β) αποθηκεύουν την πληροφορία

(γ) Χαρακτηριστικά:

- αργυρούχο αλίτη (silver halide)
- ευαίσθητα σε ακτινοβολία μέχρι $\lambda=1 \mu\text{m}$
- Στο θερμικό επηρεάζεται το γαλάκτωμα.
- σύστημα φακών, από κρύσταλλο ή γυαλί.
- για μήκη κύματος $> 1 \mu\text{m}$, το γυαλί αρχίζει να γίνεται αδιαφανές
- Έγχρωμα γαλακτώματα → τρεις ζώνες RGB με επικάλυψη.
- Όχι στενές φασματικές ζώνες.
- αναλογική μορφή, - σάρωση - ψηφιοποίηση

Ο ανιχνευτής

- ανιχνεύει μόνο την εισερχόμενη ακτινοβολία,
- το ηλεκτρικό σήμα δειγματοληπτείται και κβαντοποιείται αργότερα
- καταγράφεται σε ένα μέσο αναγνώσιμο από υπολογιστές (ταινίες, δίσκους, CD, κλπ.). όταν το ηλεκτρικό σήμα μεταδοθεί και καταγραφεί σε σταθμό λήψης στη γη.

Ταξινόμηση ανιχνευτών ακτινοβολίας

Η επιλογή του ανιχνευτή είναι θεμελιώδους σημασίας για την ευαισθησία και το δυναμικό εύρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

α . Θερμικοί ανιχνευτές . Βασίζονται στην αύξηση της θερμοκρασίας ενός υλικού ευαίσθητου στη θερμότητα η οποία οφείλεται στην ακτινοβολία που απορροφάται από το υλικό.

- Η μεταβολή της θερμοκρασίας μεταβάλλει την ηλεκτρική αντίσταση π.χ. μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C μπορεί να συνεπάγεται αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης κατά 4% στο υλικό του ανιχνευτή.

Θερμικοί ανιχνευτές στο:

ορατό (0,4-0,7 μm)

εγγύς υπέρυθρο (0,7-1,4 μm)

χρησιμοποιούνται υλικά που βασίζονται στο κάδμιο (CdS, CdSe, CdTe).

- Στο εγγύς υπέρυθρο (1,4-3 μm) χρησιμοποιούνται υλικά βασισμένα στον μόλυβδο (Pb),

- στο μέσο (3-14 μm) και στο άπω υπέρυθρο (14 μm -1 mm), υλικά που βασίζονται στο ίνδιο (In), το τελλούριο (Te) και σε διάφορα κράματα από ενυδραργυρωμένο πυρίτιο (Si) και γερμάνιο (Ge).

Όλοι αυτοί οι τύποι των ανιχνευτών ακτινοβολίας ανταποκρίνονται σε όλα τα μήκη κύματος λ της ακτινοβολίας, δεν έχουν την ικανότητα της ταχείας απόκρισης που απαιτείται από τα συστήματα Τηλεπισκόπησης και δεν θα εξεταστούν περαιτέρω.

β . ανιχνευτές φωτονίων

Προσπίπτοντα φωτόνια → διεγείρουν ηλεκτρόνια του υλικού της επιφάνειας του ανιχνευτή

Μετακίνηση ηλεκτρονίων → από το α επίπεδο ενέργειάς τους σε κάποιο άλλο εντός του κρυστάλλου του υλικού του ανιχνευτή.

- Η διαδικασία αυτή γίνεται για μικρό χρονικό διάστημα.
- Η απόκριση του ανιχνευτή φωτονίων είναι ανάλογη με τον αριθμό των μεταπτώσεων των ηλεκτρονίων οι οποίες λαμβάνουν χώρα ανά [watt] εισερχόμενης ακτινοβολίας.
- Ο ανιχνευτής φωτονίων ανταποκρίνεται μόνον όταν η ενέργεια E του φωτονίου που προσπίπτει στην επιφάνειά του είναι μεγαλύτερη από την ολική ηλιακή πυκνότητα ροής E_G της ακτινοβολίας που φθάνει στη γη από τον Ήλιο

Ενέργεια ΗΜΑ

Planck: ενέργεια E , που μεταφέρεται από ένα φωτόνιο:

$$E = h\nu$$

$h = 6,625 \times 10^{-34}$ [Joule second]. Ή

$$E = h c / \lambda$$

Ο ανιχνευτής ανταποκρίνεται εφόσον η ενέργεια E του εισερχόμενου φωτονίου είναι μεγαλύτερη από το E_G της ακτινοβολίας που φθάνει στη γη από τον Ήλιο (δηλαδή, E/E_G). επομένως, το άνω όριο πάνω από το οποίο δεν μπορεί να γίνει διέγερση του ανιχνευτή ή το μήκος κύματος αποκοπής λ_c του ανιχνευτή πάνω από το οποίο δεν είναι δυνατή η εκπομπή φωτονίων, είναι:

$$\lambda \leq \lambda_c = hc/E_G$$

Ικανότητα απόκρισης

Η ισχύς Φ σε [watt] της προσπίπτουσας ακτινοβολίας δίδεται από τη σχέση (Seyrafi and Hovanessian, 1993, Schott, 1997):

$$\Phi = N_{\phi} (hc/\lambda) [W] \rightarrow N_{\phi} = \Phi \cdot \lambda / (h \cdot c)$$

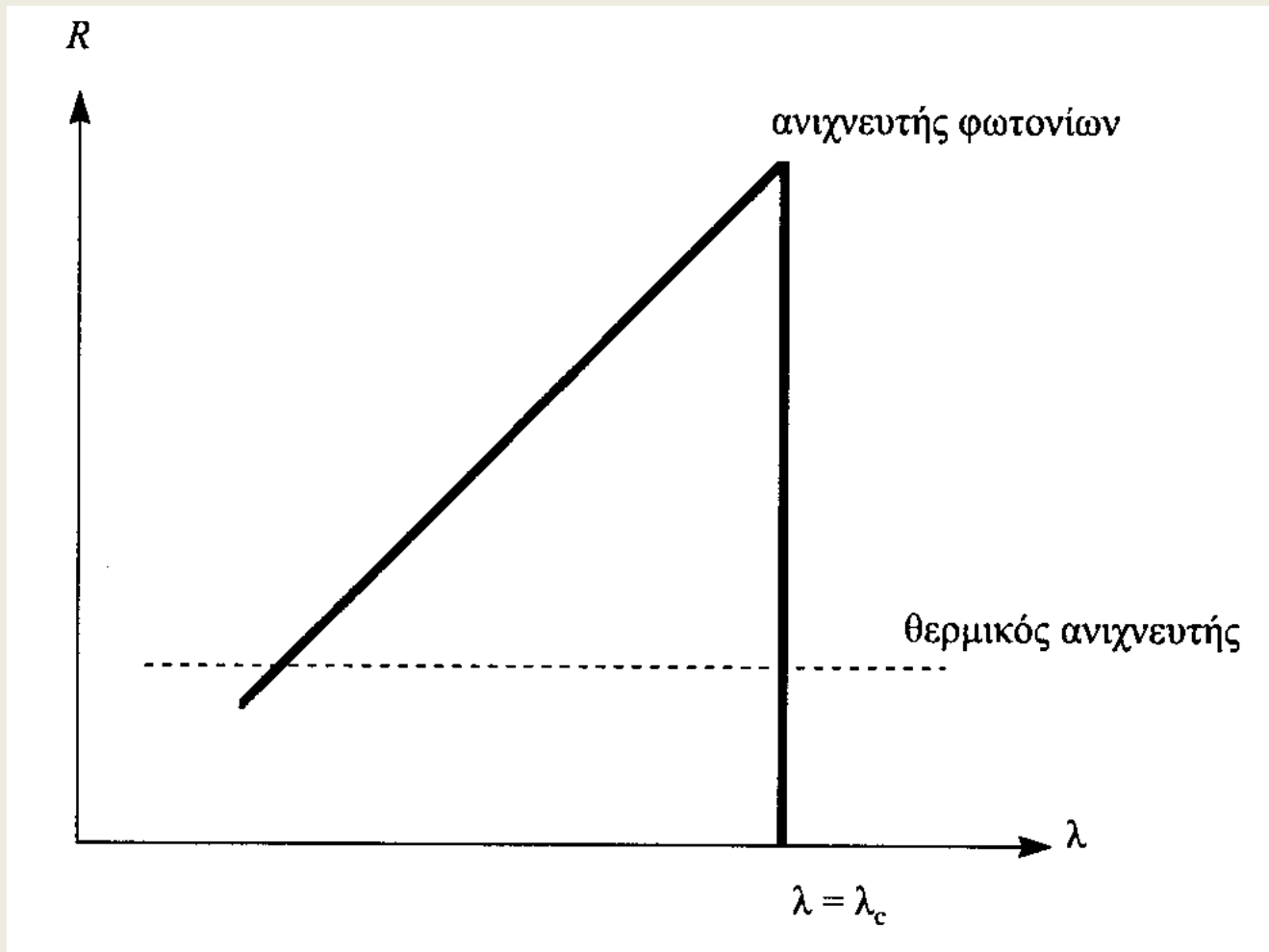
όπου N_{ϕ} είναι ο αριθμός των [φωτονίων/second].

Η **ικανότητα απόκρισης (αντίδρασης) R** (responsivity) του ανιχνευτή φωτονίων ορίζεται από τη σχέση:

$$R = \eta k N_{\phi} = \eta k [\Phi \lambda / (hc)] [\text{volts/watt}]$$

όπου η είναι η απόδοση των φωτονίων του ανιχνευτή και k σταθερά αναλογίας.

- Το R είναι ένα μέτρο της ποσότητας του ηλεκτρικού σήματος που δημιουργείται σε [volt] για κάθε [watt] εισερχόμενης ακτινοβολίας Φ .
- Το R αυξάνεται όταν αυξάνεται η ισχύς Φ της εισερχόμενης δέσμης μέχρι το μήκος κύματος αποκοπής λ_c .
- Αντίθετα, ένας θερμικός ανιχνευτής παρουσιάζει σταθερή ικανότητα απόκρισης ανεξαρτήτως της εισερχόμενης ισχύος της ακτινοβολίας.



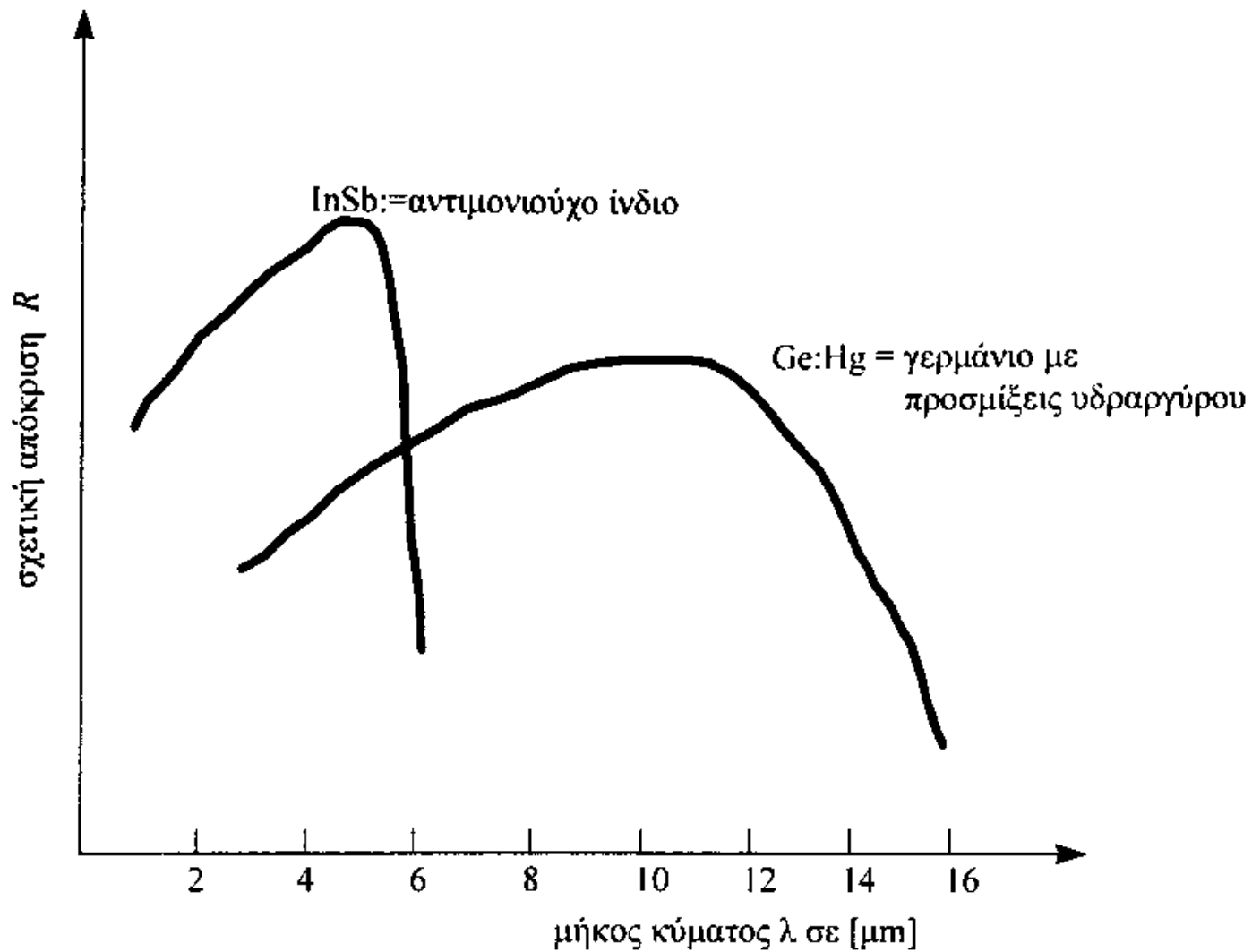
Σχηματικό διάγραμμα της απόκρισης R ενός ιδανικού ανιχνευτή σε σχέση με το μήκος κύματος λ .

Από το Σχήμα φαίνεται ότι ο ιδανικός ανιχνευτής φωτονίων θα έχει μέγιστη τιμή R όταν $\Phi = \Phi_c$, δηλαδή όταν $\lambda = \lambda_c$.

Καθώς η ισχύς Φ είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους κύματος λ της ακτινοβολίας, την ίδια στιγμή η ικανότητα απόκρισης (responsivity) R του ανιχνευτή θα προσεγγίζει το μηδέν ($R \rightarrow 0$).

Η απόκριση R του ανιχνευτή φωτονίων θα ελαττώνεται όσο το μήκος κύματος λ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας γίνεται μικρότερο,

Η ακτινοβολία με μήκη κύματος μεγαλύτερα από λ_c (δηλαδή, $\lambda > \lambda_c$) δεν είναι ανιχνεύσιμη.



Διάγραμμα της απόκρισης R δύο ανιχνευτών υπέρυθρης ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος λ

Οι ανιχνευτές φωτονίων κατασκευάζονται από πυρίτιο που έχει εμποτιστεί με άλλα συστατικά ώστε να τους δώσει τη δυνατότητα να ανταποκρίνονται σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος.

Τα τυπικά συστατικά μπορεί να είναι πυρίτιο (Si), θειούχος μόλυβδος (Lead Sulphide, γαληνίτης)

Τελουριούχος κάδμιο-υδράργυρος (Mercury Cadmium Telluride, MCT, $Hg_{1-x}Cd_xTe$)

Αντιμονιούχο ίνδιο (Indium Antimonide),

Γερμάνιο με προσμίξεις υδραργύρου (Mercury Doped Germanium) κλπ.

Μέτρα της συμπεριφοράς των ανιχνευτών

Απόδοση φωτονίων ή (**quantum efficiency**) απόκριση -R
Ισοδύναμη ισχύ **θορύβου NEP (Noise Equivalent Power)**.

Η NEP σχετίζεται προς το λόγο σήματος προς θόρυβο
(**signal-to-noise-ratio**)

$$\text{NEP} = \Phi_{\max} (V_N/V_S) \quad [\text{W}]$$

Φ_{\max} = μέγιστη ισχύς σε [watt] της ακτινοβολίας που προσπίπτει

V_S = μέγιστο δυναμικό του σήματος που αναπτύσσεται [volts]

V_N είναι το δυναμικό του θορύβου (το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του) ή

$$\text{NEP} = V_N/R \quad [\text{W}]$$

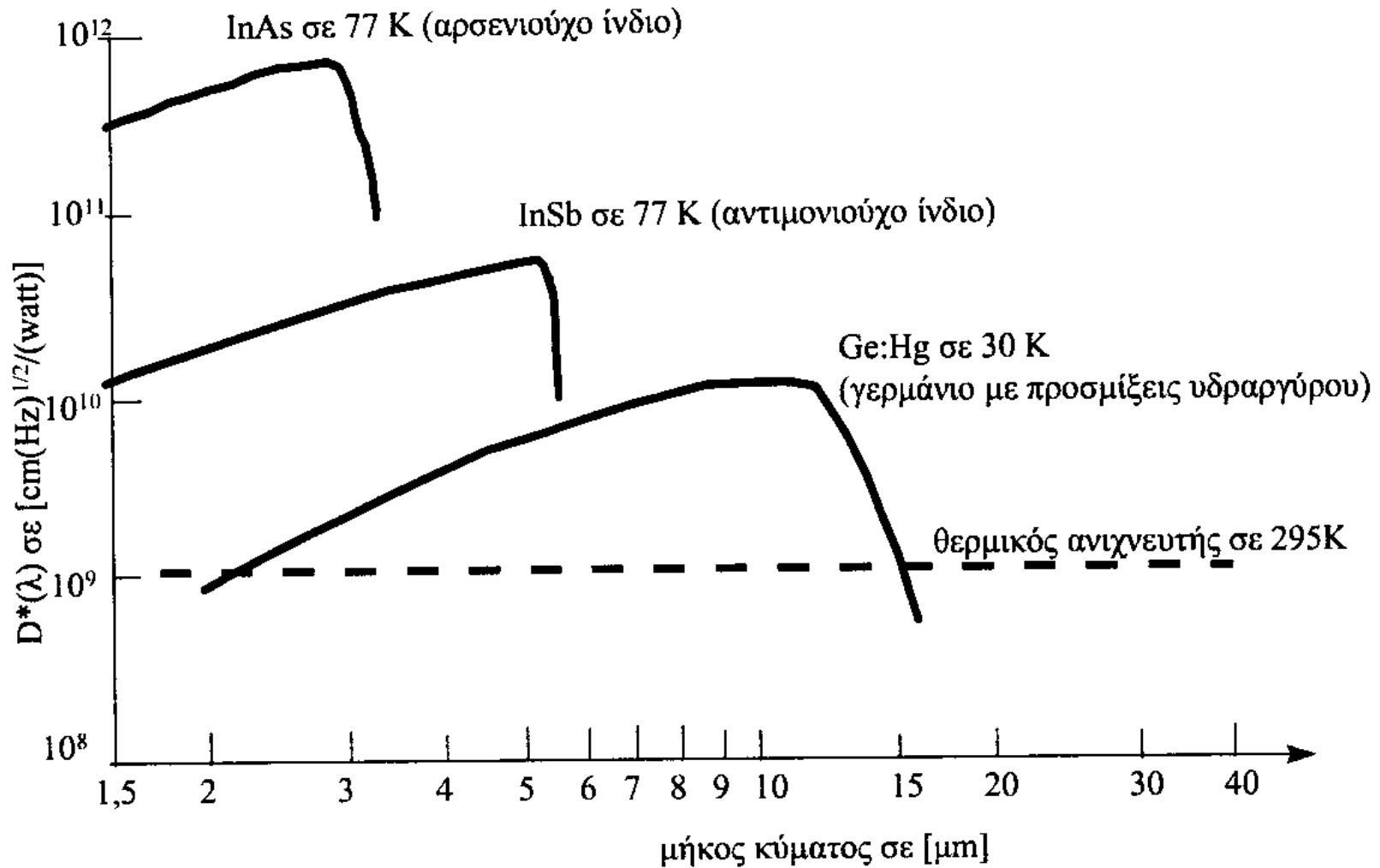
Ένας ανιχνευτής με μεγαλύτερο εμβαδό A_d θα διαθέτει περισσότερα φωτόνια ανά δευτερόλεπτο που προσπίπτουν στην επιφάνειά του σε σχέση με έναν ανιχνευτή με μικρότερο εμβαδό. Για να λάβουμε υπόψη αυτήν τη διαφορά, χρησιμοποιείται ο συγκριτικός όρος (Elachi, 1987, Seyrafi and Hovanessian, 1993, Schott, 1997):

$$D^* = \frac{\sqrt{A_d \Delta f}}{(NEP)} \quad \left[\frac{\text{cmHz}^{1/2}}{\text{W}} \right]$$

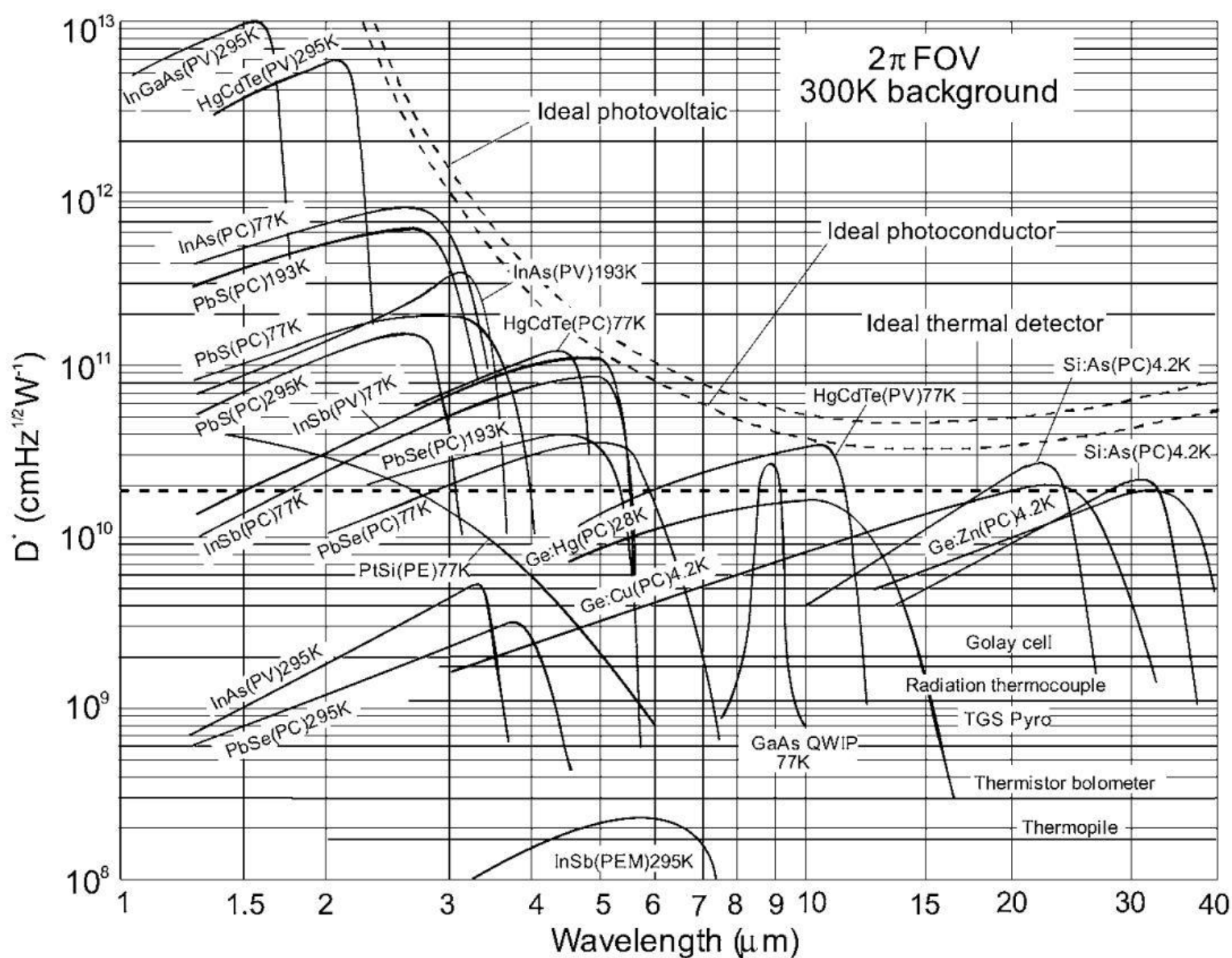
A_d είναι το εμβαδό της επιφάνειας του ανιχνευτή σε $[\text{cm}^2]$
 Δf είναι η συχνότητα δειγματοληψίας του σήματος σε $[\text{Hz}]$
(συνήθως $\Delta f = 1/(2\Delta t)$, όπου Δt ο χρόνος παραμονής για κάθε IFOV \rightarrow στιγμιαίο πεδίο όρασης

NEP είναι η ισοδύναμη ισχύς θορύβου σε $[\text{watt}]$.

D^* (**specific detectivity ή D "star"**) αυξάνεται όταν ο ανιχνευτής γίνεται πιο αποδοτικός, **και μπορεί να συγκρίνει ανιχνευτές με διαφορετικό εμβαδόν.**



Συγκριτικό διάγραμμα της παραμέτρου D^* διαφόρων ανιχνευτών στο υπέρυθρο σε διαφορετικές θερμοκρασίες σε σχέση με το μήκος κύματος λ .



Comparison of the D^* of various commercially available IR detectors when operated at the indicated temperature. Chopping frequency is 1000 Hz for all detectors except the thermopile (10 Hz), thermocouple (10 Hz), thermistor bolometer (10 Hz), Golay cell (10 Hz), and pyroelectric detector (10 Hz). Each detector is assumed to view a hemispherical surrounding at a temperature of 300 K. Theoretical curves for the background-limited D^* (dashed lines) for the ideal photovoltaic and photoconductive detectors and for thermal detectors are also shown. Key: PC = photoconductive detector, PV = photovoltaic detector, PE = photoemissive detector, and PEM = photoelectromagnetic detector.

Η παράμετρος D^* εξαρτάται:

- από το μήκος κύματος λ
- το ηλεκτρικό πλάτος Δf της ζώνης του συστήματος καταγραφής που προσαρμόζεται στον ανιχνευτή
- την ταχύτητα δειγματοληψίας των οπτικών και ηλεκτρικών συστημάτων ενίσχυσης που σχετίζονται με τον ανιχνευτή.
- είναι συνάρτηση της ταχύτητας (συχνότητας) δειγματοληψίας f , του μήκους κύματος λ και του πλάτους της φασματικής ζώνης.

Τυπικές τιμές διαφορετικών ανιχνευτών δίδονται στον Πίνακα

• Ταυτόχρονα με την παράμετρο D^* δηλώνεται και το οπτικό γωνιακό πεδίο IFOV του ανιχνευτή, που κατά κανόνα είναι 2 [sr].

<u>Υλικά ανιχνευτή</u>	<u>D^*</u>	<u>$\lambda_{\max} = \lambda_c$</u>
Πυρίτιο (Si)	9×10^{11}	1 μm
Θειούχος μόλυβδος	6×10^{11}	2,1 μm
Αντιμονιούχο ίνδιο	5×10^{11}	5 μm
MCT	$4,5 \times 10^{10}$	12 μm

Οι ανιχνευτές πρέπει να ψυχθούν σε θερμοκρασίες πολύ μικρότερες από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ώστε να ελαττωθεί ο θερμικός θόρυβος που προκαλείται εσωτερικά στον ανιχνευτή.

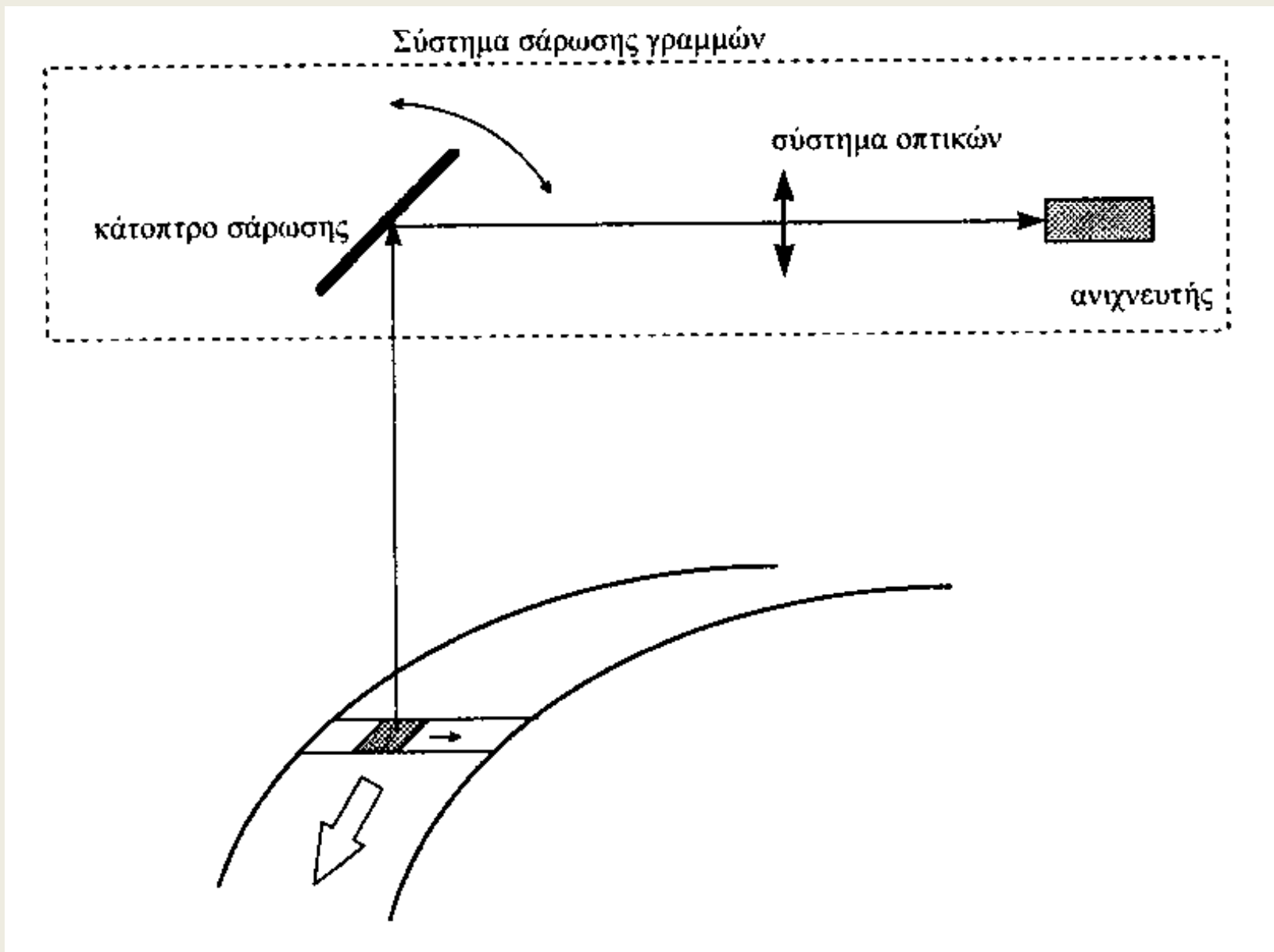
Εικονοληπτικά συστήματα

Τρεις τύποι συστημάτων καταγραφών (ανιχνευτών) ακτινοβολίας

Τα συστήματα σάρωσης γραμμών, (line scanning systems), που χρησιμοποιούν ένα επίπεδο κάτοπτρο το οποίο ταλαντώνεται ή περιστρέφεται ώστε να ανακλάται η ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης και να κατευθύνεται σε μια σειρά ανιχνευτών.

Τα συστήματα διανυσματικής καταγραφής (array sensor systems), που χρησιμοποιούν μια σειρά ανιχνευτών σε διάταξη μονοδιάστατου (ή δυσδιάστατου) πίνακα για να ανιχνεύουν και να καταγράφουν την ακτινοβολία από τη γη.

Τα συστήματα κεραιών (antenna systems), που είναι ειδικά σχεδιασμένα για τη ζώνη των μικροκυμάτων και μπορεί να είναι πραγματικού ανοίγματος (RAR) ή συνθετικού ανοίγματος κεραίας (SAR).



Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος σάρωσης γραμμών.

Συστήματα σάρωσης γραμμών

Τα συστήματα σάρωσης γραμμών (line scanning systems) χρησιμοποιούν ένα κάτοπτρο που ταλαντώνεται με επίπεδο ταλάντωσης κάθετο προς τη διεύθυνση της πτήσης, και το οποίο διαδοχικά κατευθύνει την ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια στον ανιχνευτή ή στους ανιχνευτές.

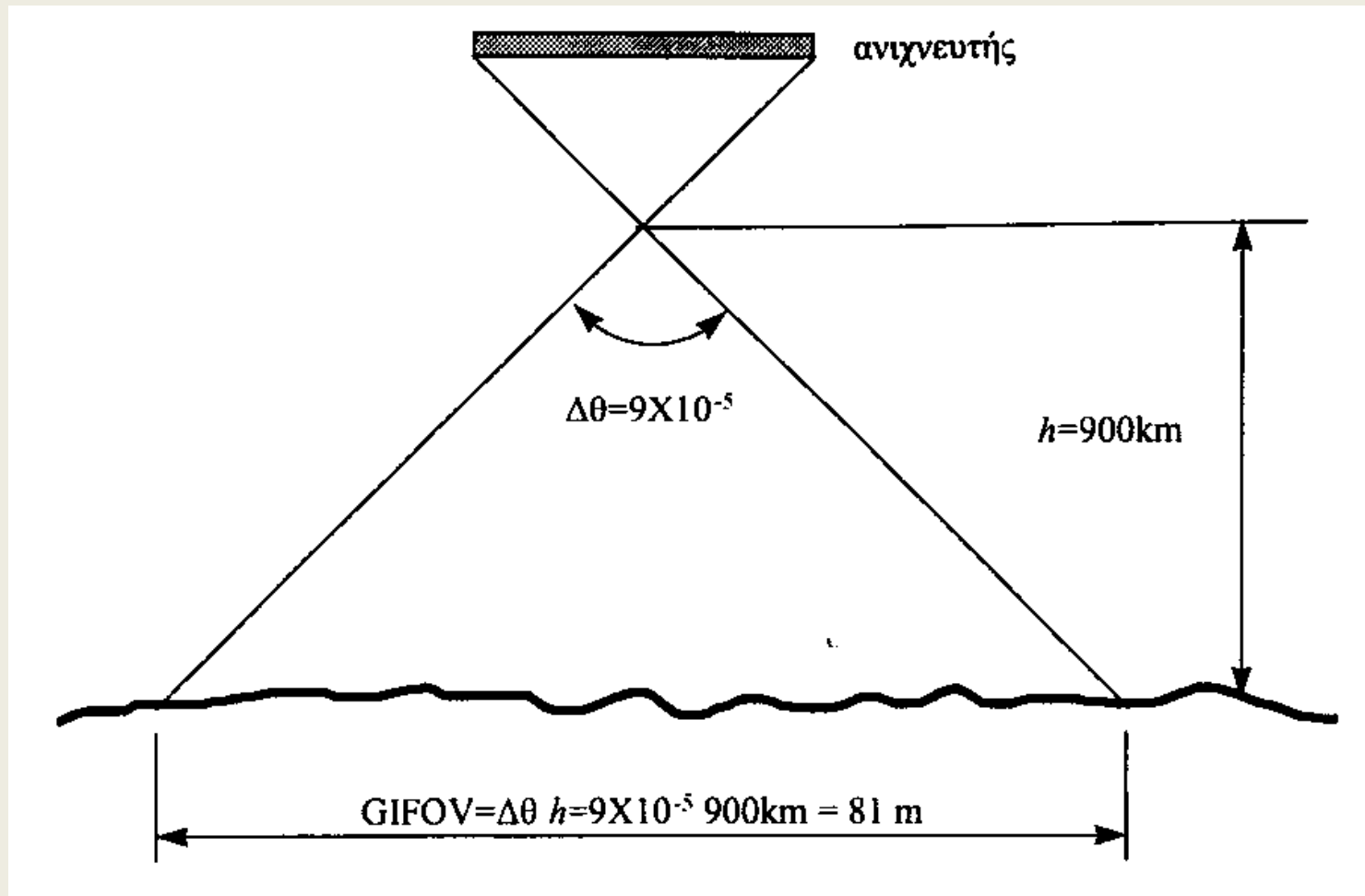
Η πρόσω κίνηση της πλατφόρμας (αεροσκάφος ή δορυφόρος) του αισθητήρα φέρει το κάτοπτρο σε θέση ώστε να ενεργοποιήσει την καταγραφή της επόμενης γραμμής σάρωσης, κοκ.

Στιγμιαίο οπτικό πεδίο εδάφους GIFOV

(Ground Instantaneous Field of View) = Το εμβαδό της γήινης επιφάνειας από την οποία καταγράφεται η ακτινοβολία και εξαρτάται:

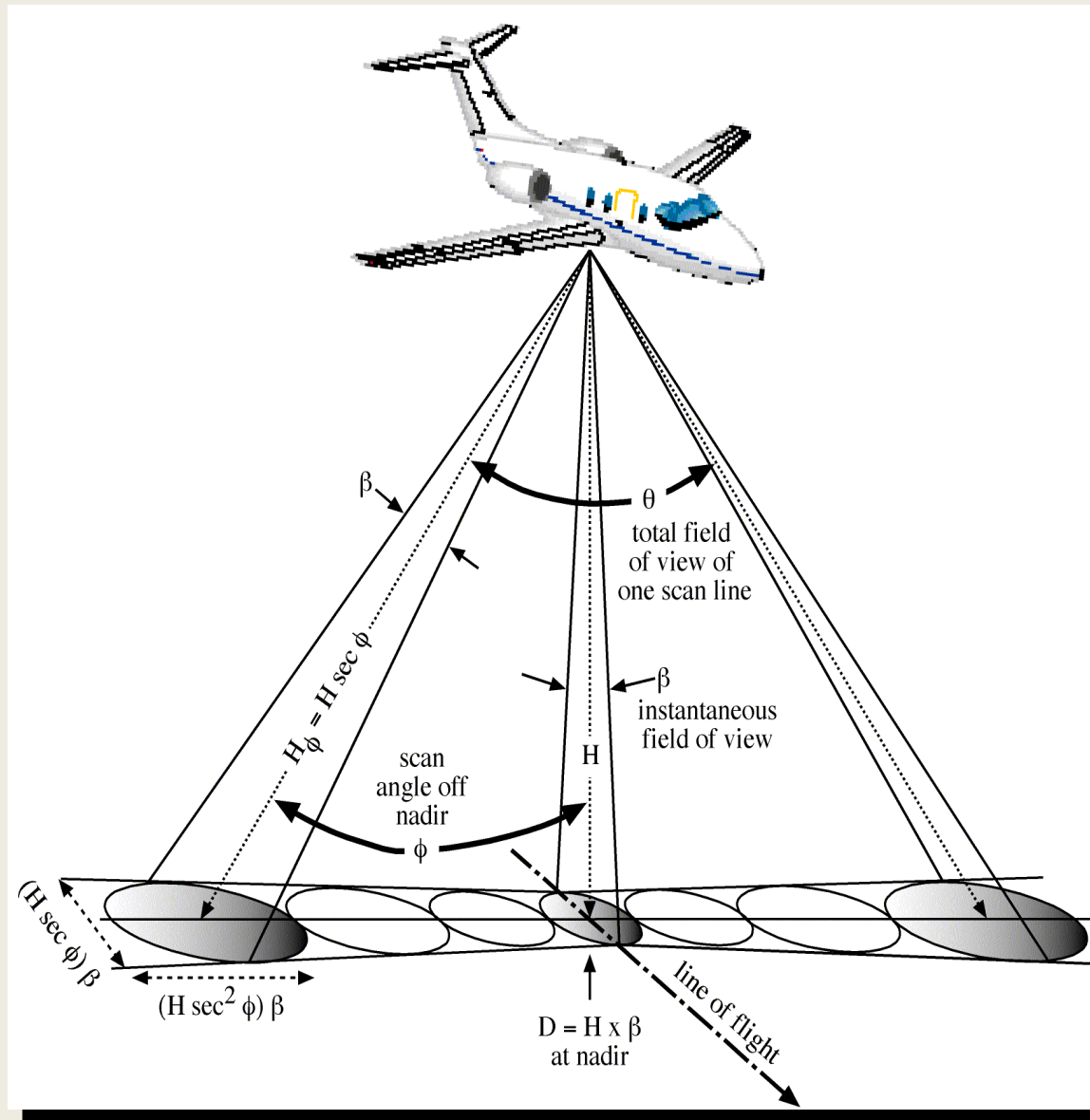
- (α) τις διαστάσεις του ανιχνευτή,
- (β) τη γραμμική ταχύτητα της πλατφόρμας
- (γ) το ύψος πτήσης της πλατφόρμας,
- (δ) τη συχνότητα ταλάντωσης του κατόπτρου, και
- (ε) τη συχνότητα δειγματοληψίας του σήματος που προέρχεται από τον ανιχνευτή.

Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο IFOV μετρείται σε ακτίνια [rad], και αναφέρεται στην επίκεντρο γωνία $\Delta\theta$ κύκλου με κέντρο τον ανιχνευτή και με ακτίνα το ύψος πτήσης h και η οποία βαίνει του στοιχείου της γήινης επιφάνειας. Από αυτήν τη γωνιακή τιμή $\Delta\theta$ και το ύψος της πτήσης h της πλατφόρμας μπορεί να καθοριστεί το GIFOV



Παράδειγμα της γεωμετρίας του GIFOV στους δορυφόρους Τηλεπισκόπησης.

Ground Resolution Cell Size Along a Single Across-Track Scan

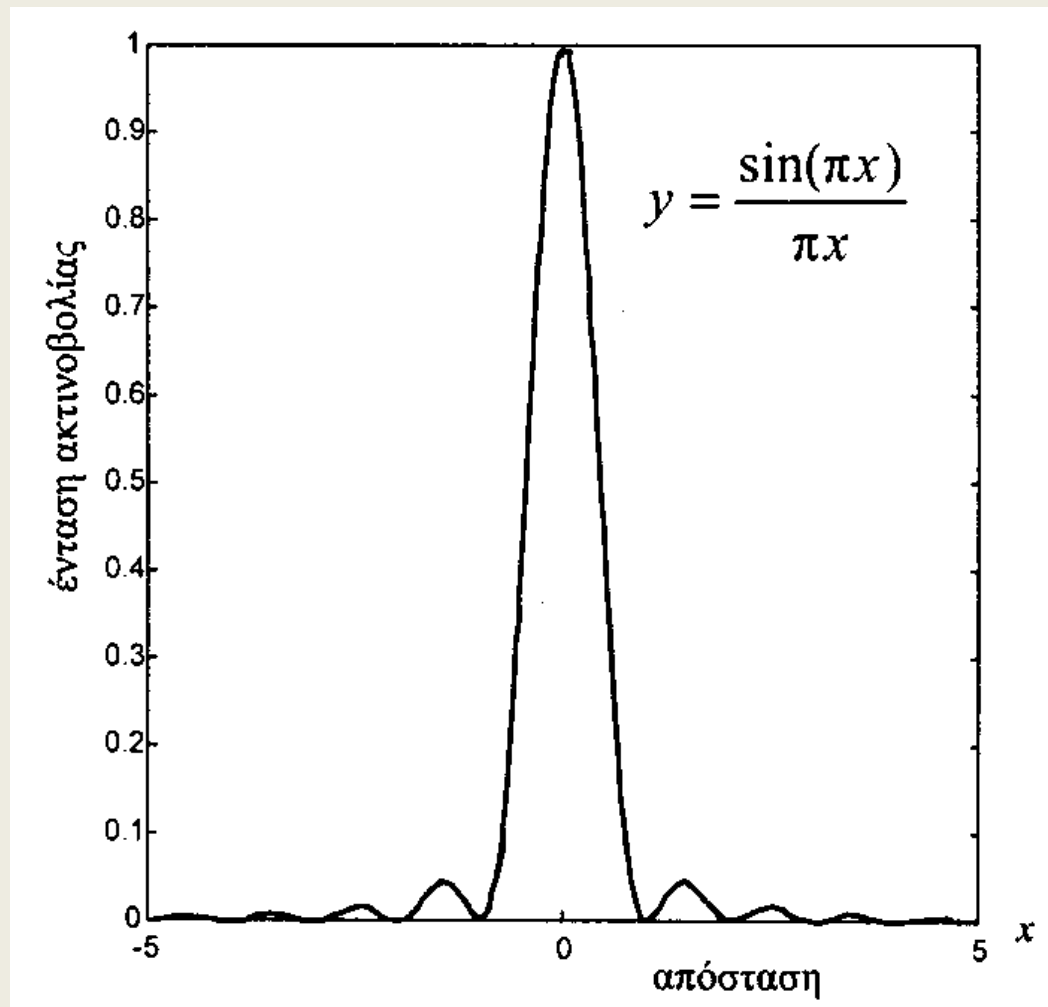


Οι διαστάσεις του GIFOV μπορεί επιπλέον να επηρεάζονται:

- η μη κατακορύφωση του αισθητήρα,
- η ανομοιόμορφη κίνηση του κατόπτρου
- η κηλίδωση του σήματος (smearing) εξαιτίας της συνάρτησης διασποράς της ακτινοβολίας (**Point Spread Function, PSF**) του ανιχνευτή.

Η PSF περιλαμβάνει την περίθλαση και τις άλλες επιδράσεις των κατόπτρων, πρισμάτων και ανιχνευτών στο σύστημα του αισθητήρα, καθώς και τις μετακινήσεις του κατόπτρου και της πλατφόρμας του αισθητήρα.

Π.χ. PSF, θεωρήστε μια σημειακή πηγή στο έδαφος η ακτινοβολία της οποίας ανιχνεύεται και καταγράφεται από τον δορυφόρο. Η σημειακή αυτή πηγή καταγράφεται στην εικόνα σαν μια κυκλική διαχεόμενη ζώνη. Η PSF της ακτινοβολίας σημειακής πηγής έχει τη μορφή της τρισδιάστατης συνάρτησης sinc



Σχηματικό διάγραμμα της συνάρτησης διασποράς PSF (συνάρτηση sinc) μιας σημειακής πηγής ακτινοβολίας σε μία διάσταση.

Παράδειγμα

Σε ένα ύψος, $h = 700 \text{ km}$

με γραμμική ταχύτητα του δορυφόρου $v = 7 \text{ km/s}$,

ο ανιχνευτής θα πρέπει να καταγράφει το εισερχόμενο σήμα κάθε $\Delta t = 0,01 \text{ s}$, ώστε να δημιουργηθεί μια

ψηφίδα με διάσταση 70 m κατά την πρόσω διάσταση.

$$\Delta\theta = 70/700000 = 1/10000$$

$$7000 \cdot \Delta t = 70 \rightarrow \Delta t = 1/100$$

Λωριδοποίηση

Αν οι ανιχνευτές αυτών των συστημάτων ρυθμιστούν ελαφρώς διαφορετικά ή κάποιος ανιχνευτής καταγράψει ελαφρώς υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές από τους υπόλοιπους, τότε εμφανίζεται μια συστηματική ελαττωματική γραμμή (λωρίδα) στην εικόνα κατά τη διεύθυνση της σάρωσης.

Το σφάλμα αυτό είναι εμφανές μόνο όταν το υπόβαθρο είναι σχετικά ομοιογενές, όπως στις επιφάνειες των ωκεανών

Τα συστήματα σάρωσης γραμμών κάθε GIFOV του ανιχνευτή καταγράφεται στιγμή προς στιγμή, καθώς το κάτοπτρο σαρώνει τη γη, και την ίδια ώρα η πλατφόρμα του ανιχνευτή κινείται προς τα εμπρός.

Κατά την περίοδο αυτή ο προσανατολισμός της πλατφόρμας μπορεί να μεταβληθεί και να προκαλέσει ένα σχετικό γεωμετρικό σφάλμα μεταξύ των μεμονωμένων μετρήσεων των ψηφίδων.

Η πλατφόρμα θα πρέπει να είναι αρκετά σταθερή ώστε να αποφευχθούν τέτοια σφάλματα.

Συστήματα διανυσματικής καταγραφής

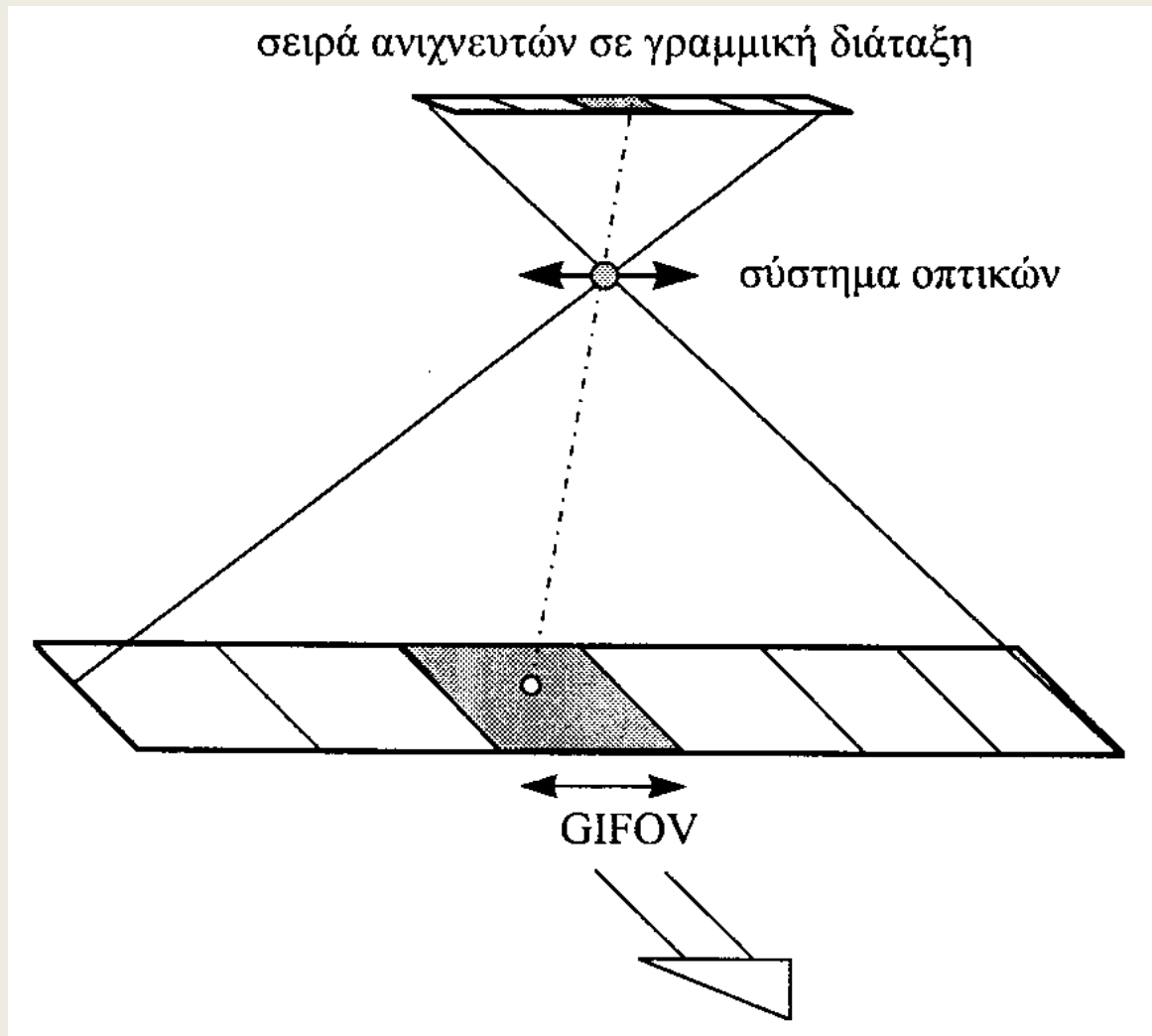
Ένα σύστημα διανυσματικής καταγραφής (**linear array system**) δεν χρησιμοποιεί κάτοπτρο για να σαρώνει εγκάρσια την επιφάνεια της γης, καθώς κάθε στοιχείο της εικόνας (ψηφίδα) καταγράφεται από ανεξάρτητο στοιχείο του ανιχνευτή

Το πλάτος κάθε ηλεκτρονικού στοιχείου του ανιχνευτή όταν προβάλλεται στην επιφάνεια της γης από το ύψος h της πλατφόρμας του αισθητήρα, καθορίζει το GIFOV κατά την εγκάρσια της πτήσης διάσταση

Η πρόσω ταχύτητα της πλατφόρμας του αισθητήρα και η ταχύτητα δειγματοληψίας καθορίζει τη διάσταση του GIFOV κατά μήκος της κατεύθυνσης της πτήσης

Παράδειγμα:

Στον δορυφόρο SPOT ο ολικός αριθμός των ανιχνευτών κατά μήκος του διανύσματος (array) πολλαπλασιαζόμενος με GIFOV ίσο με 20 m και μια γραμμική σειρά 3000 ανιχνευτών δίνει ένα ολικό πλάτος λωρίδας της εικόνας της γήινης επιφάνειας ίσο με $20\text{m} \times 3000 = 60 \text{ km}$.



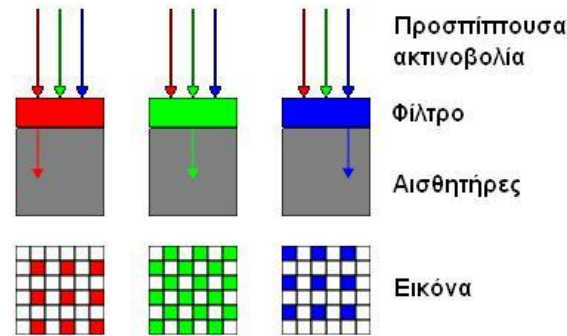
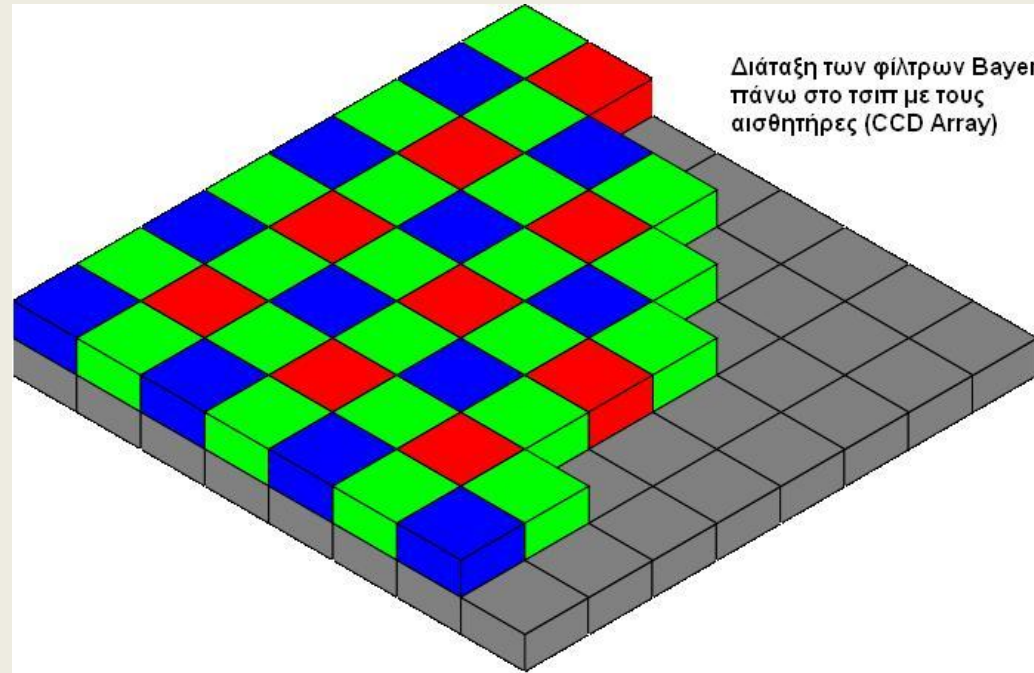
Συστήματα διανυσματικής καταγραφής (push broom).

Εικόνα του CCD τοποθετημένου στην SLR φωτογραφική μηχανή Nikon D200. Στην εικόνα φαίνεται επίσης το σύστημα προσαρμογής του φακού της Nikon. Η λήψη της φωτογραφίας έγινε με ανασηκωμένο το κυρίως κάτοπτρο της μηχανής ώστε να φανεί η επιφάνεια του CCD. Το CCD βρίσκεται ακριβώς πίσω από τον φακό, που εδώ έχει αφαιρεθεί.

Πηγή: Χαραλαμπίδης



Διάταξη των φίλτρων Bayer πάνω στο τσιπ με τους αισθητήρες (CCD Array)



Η χρωματική διάταξη φίλτρων τύπου Bayer

Ο υπολογισμός των B εικονοστοιχείων χωρίζεται σε δύο υποπεριπτώσεις. Για τον υπολογισμό μίας B τιμής σε μία θέση όπου υπάρχει μόνο η G οι γειτονικές τιμές B εμφανίζονται οριζόντια ή κάθετα στο G εικονοστοιχείο. Στην περίπτωση του $B_{4,4}$ η τιμή του δίνεται από την σχέση:

$$B_{4,4} = G_{4,4} (B_{4,3} / G_{3,3} + B_{4,5} / G_{5,5}) / 2.$$

Στην άλλη περίπτωση

όπου θέλουμε να υπολογίσουμε την B τιμή σε μία θέση R τα γειτονικά εικονοστοιχεία βρίσκονται τοποθετημένα διαγώνια του R.

Σε αυτή την περίπτωση η τιμή $B_{3,4}$

υπολογίζεται ίση με:

$$B_{3,4} = G_{3,4} (B_{2,3} / G_{2,3} + B_{2,5} / G_{2,5} + B_{4,5} / G_{4,5} + B_{4,3} / G_{4,3}) / 4.$$

Η απομωσαϊκοποίηση των R τιμών γίνεται όπως και στις B

Κάθε ανιχνευτής μετρά ακτινοβολία και αποθηκεύει το σήμα που προκύπτει στον χρόνο που χρειάζεται η πλατφόρμα για να μετακινηθεί στην επόμενη θέση της γραμμής της εικόνας.

Παράδειγμα, αν ο δορυφόρος έχει μια εφαπτομενική ταχύτητα $v = 7$ km/s και η κατά μήκος διάσταση του GIFOV είναι 20 m, τότε ο ανιχνευτής πρέπει να μετρήσει και να καταγράψει την ψηφίδα σε $20 \text{ m} / 7000 \text{ m/s} = 0,003 \text{ s}$.

Τα καταγεγραμμένα σήματα της ακτινοβολίας ονομάζονται ψηφιακές Τιμές DN (Digital Numbers) ή Τιμές αρίθμησης CN (Count Values).

Όλα τα DN, για ολόκληρη τη γραμμή σάρωσης, μεταδίδονται προς κάποιον επίγειο σταθμό λήψης συνήθως στο ίδιο κλάσμα του δευτερολέπτου κατά το οποίο καταγράφονται.

Απαιτείται επομένως μεταφορά μεγάλου αριθμού δεδομένων από τους δορυφόρους στους επίγειους σταθμούς.

Παθητικά συστήματα εξαρτώνται από κάποια εξωτερική πηγή ενέργειας, π. χ. τον Ήλιο, για καταγραφή στο ορατό ή υπέρυθρο

Τα Radar ή τα μικροκυματικά συστήματα, διαθέτουν τη δική τους πηγή ενέργειας και για αυτόν τον λόγο ονομάζονται **ενεργά συστήματα**.

Η ενέργεια μεταδίδεται μέσω κάποιας κεραίας. Κατατάσσονται με όρους που σχετίζονται με τη συχνότητα ν (ή μήκος κύματος λ) που εκπέμπει, όπως συστήματα Radar

X-band όταν $\lambda = 3 \text{ cm}$,

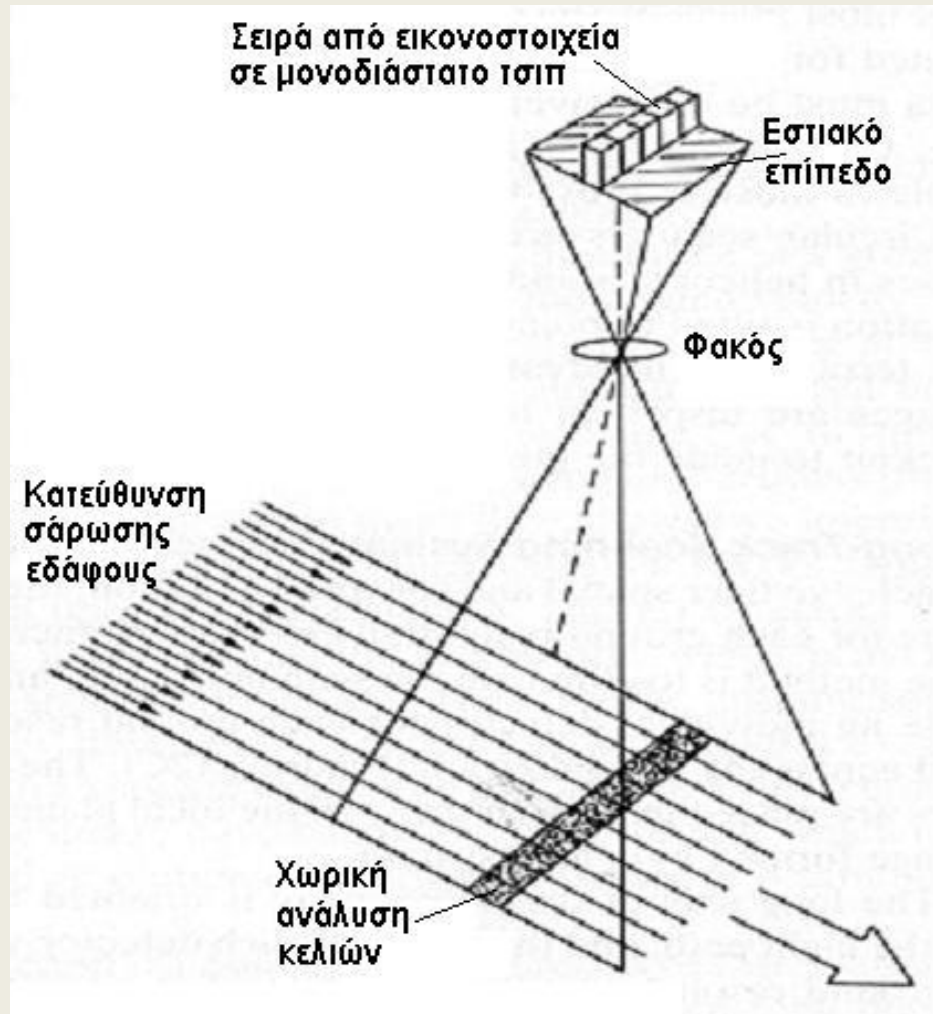
C-band όταν $\lambda = 10 \text{ cm}$,

L-band όταν $\lambda = 20 \text{ cm}$,

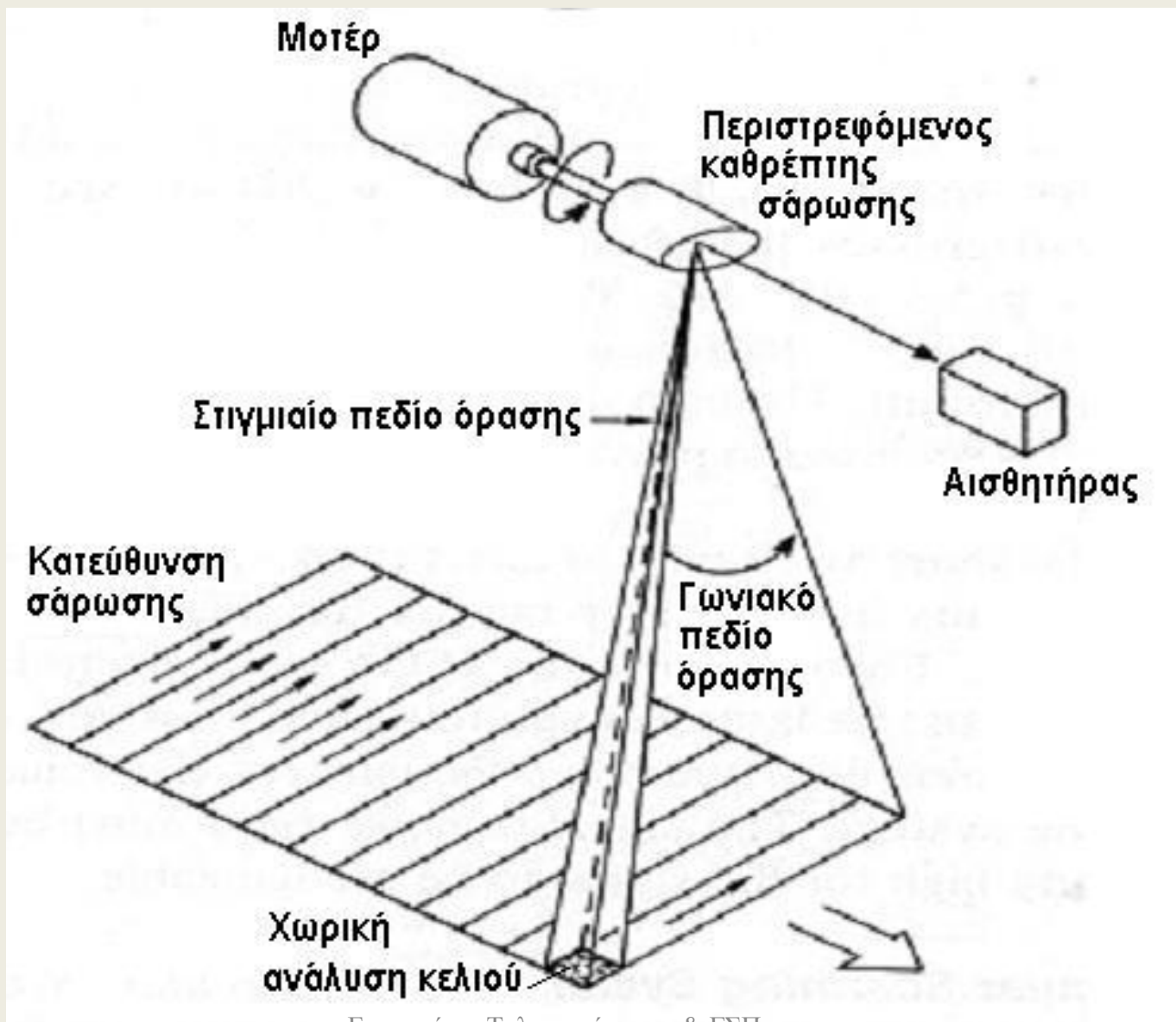
P-band όταν $\lambda = 50 \text{ cm}$.

Ταξινομούνται επίσης σε σχέση με το είδος της διεύθυνσης πόλωσης της ακτινοβολίας που εκπέμπουν και λαμβάνουν

Κατά μήκος της τροχιάς σάρωση εδάφους



Σύστημα οπτικομηχανικής σάρωσης



Ground Resolution Cell Size Along a Single Across-Track Scan

