

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

Εργασία 3

Κούτση Χριστίνα
AEM: 9871
email: cvkoutsi@ece.auth.gr

Ιούλιος, 2022

1 Multi-frame HDR imaging

Στο πρώτο ερώτημα της εργασίας ζητείται η υλοποίηση της ρουτίνας `mergeLDRStack` η οποία δέχεται ένα πλήθος HDR εικόνων διαφορετικών χρόνων έκθεσης και υλοποιεί τον χάρτη ακτινοβολείας της σκηνής ενός χρώματος κάθε φορά, ο οποίος προέκυψε από την σταθμισμένη συνένωση των εικόνων μέσω της σχέσης

$$\ln(E_{ij}) = \frac{\sum_{k=1}^K w(Z_{ij}^k)(g(Z_{ij}^k) - \ln(t^k))}{\sum_{k=1}^K w(Z_{ij}^k)}$$

Όπου w_{ij} η συνάρτηση στάθμισης. Στο συγκεκριμένο ερώτημα χρησιμοποιούμε τις συναρτήσεις στάθμισης $w_{uniform}$, w_{tent} , $w_{Gaussian}$ και w_{photon}

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες ακτινοβολείας της σκηνής που προέκυψαν μέσω της ρουτίνας `mergeLDRStack`.

Παρατήρηση

Οι χάρτες ακτινοβολίας του $\ln(E_{ij})$ παρατηρήθηκε ότι έχουν καλύτερη οπτική απεικόνηση από τους χάρτες ακτινοβολίας του $E_{ij} = e^{\ln(E_{ij})}$. Παρακάτω θα παρουσιαστούν κάποια παραδείγματα του χάρτη ακτινοβολίας του E_{ij} αλλά στη συνέχεια ως χάρτης ακτινοβολίας θα χρησιμοποιείται αυτός του $\ln(E_{ij})$.

- Red Channel
 - Uniform weighting function

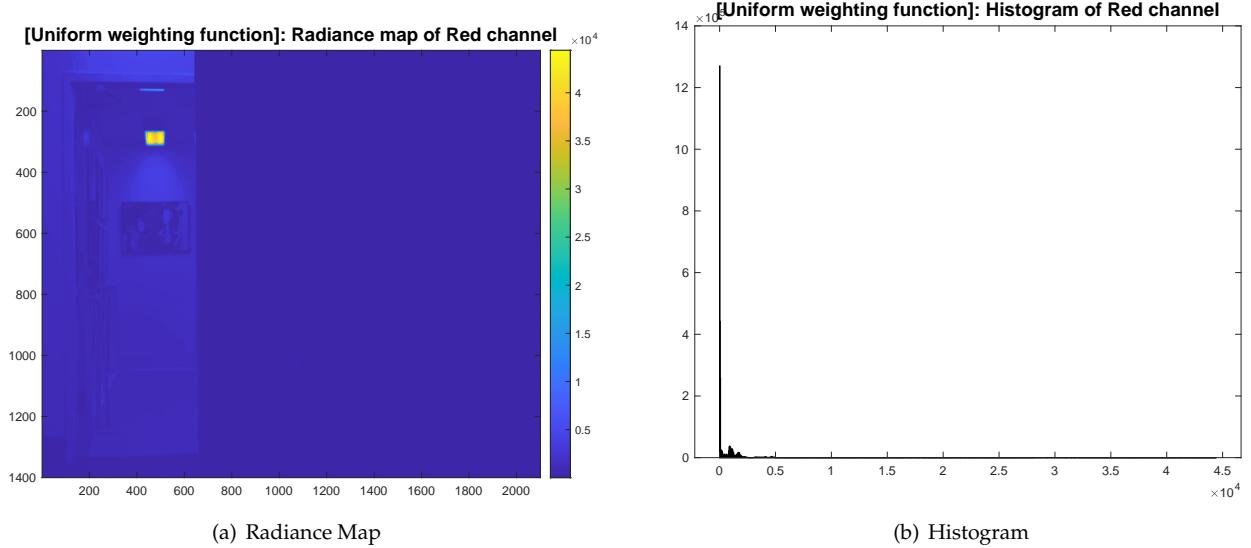


Figure 1: Radiance Map and Histogram of E_{ij}

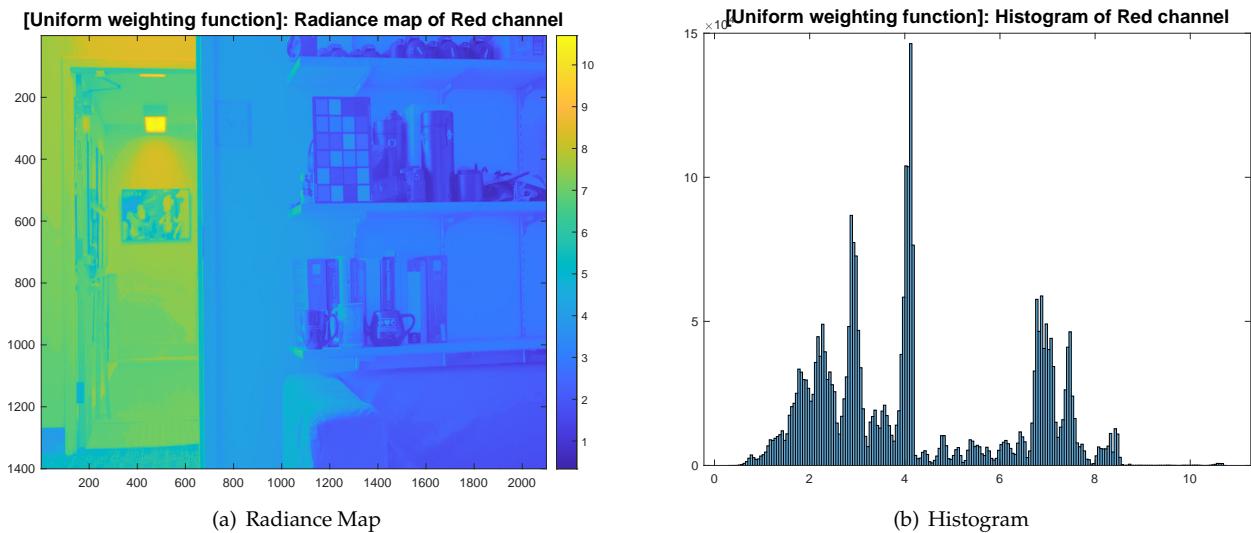


Figure 2: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

- Tent weighting function

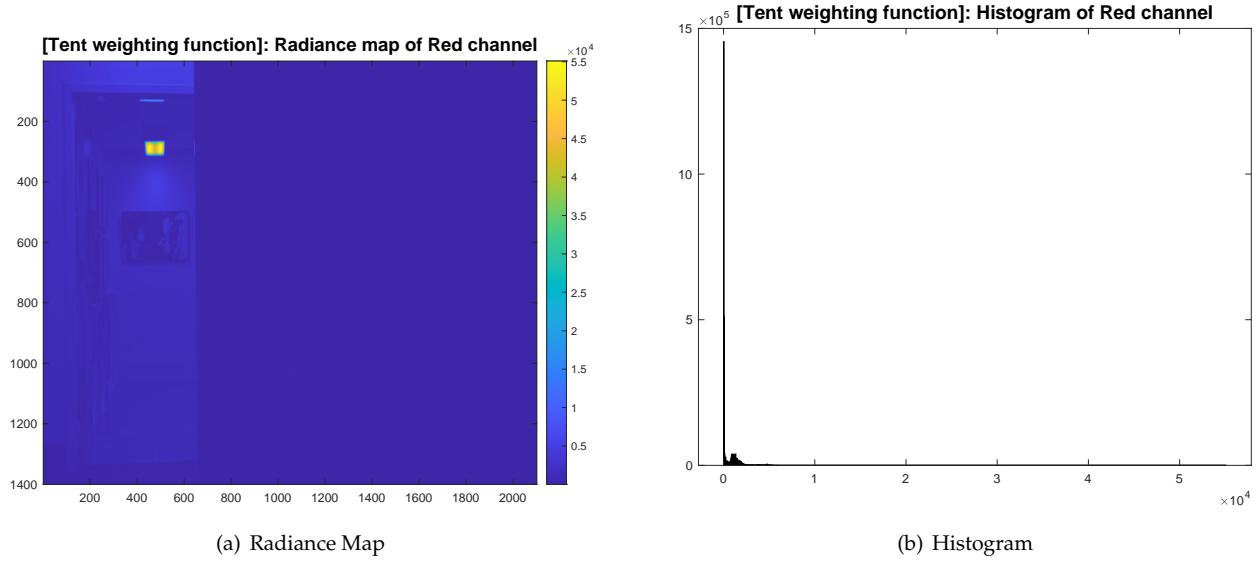


Figure 3: Radiance Map and Histogram of E_{ij}

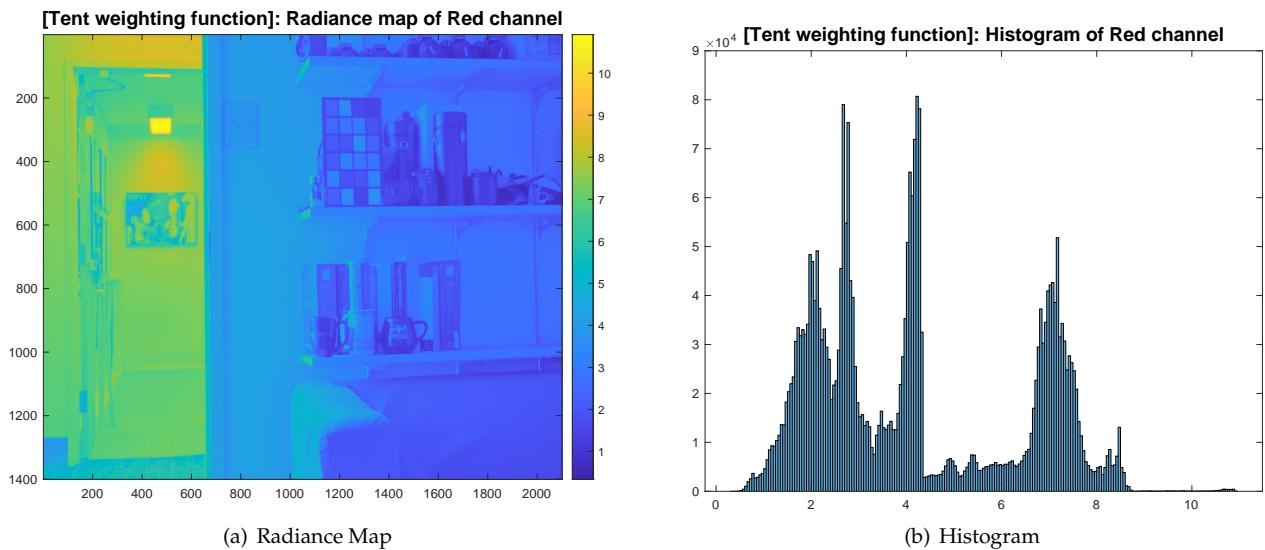


Figure 4: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

- Gaussian weighting function

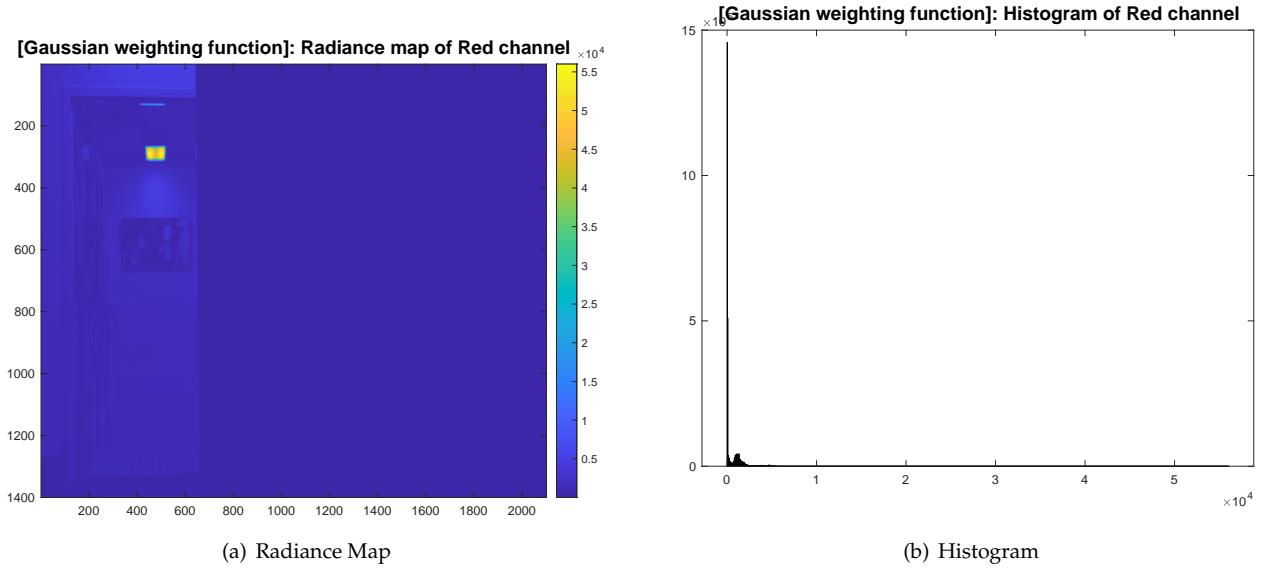


Figure 5: Radiance Map and Histogram of E_{ij}

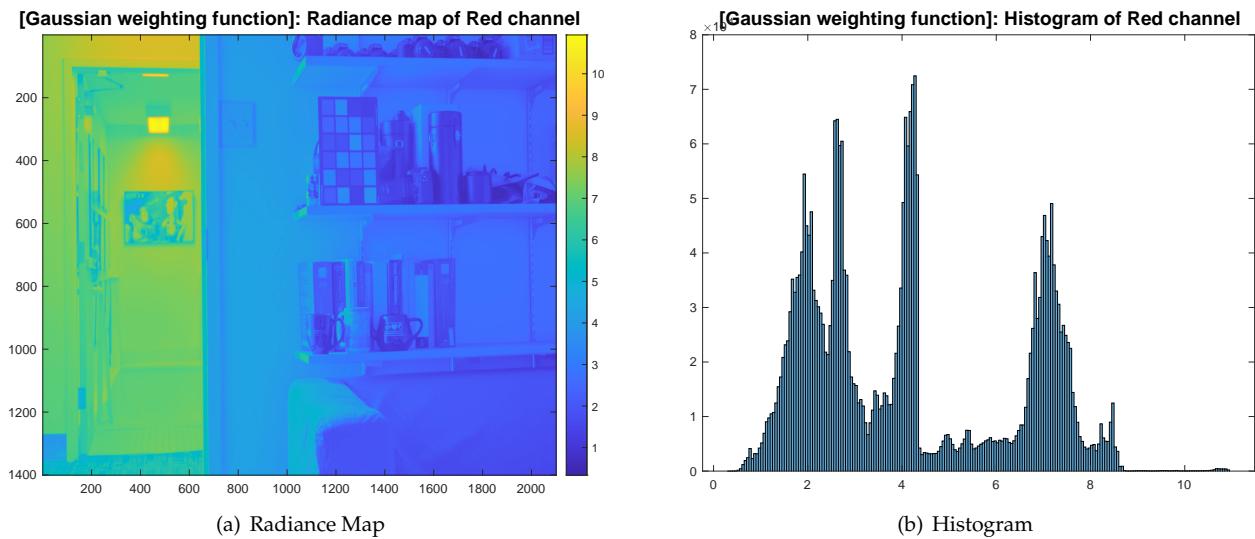


Figure 6: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

- Photon weighting function

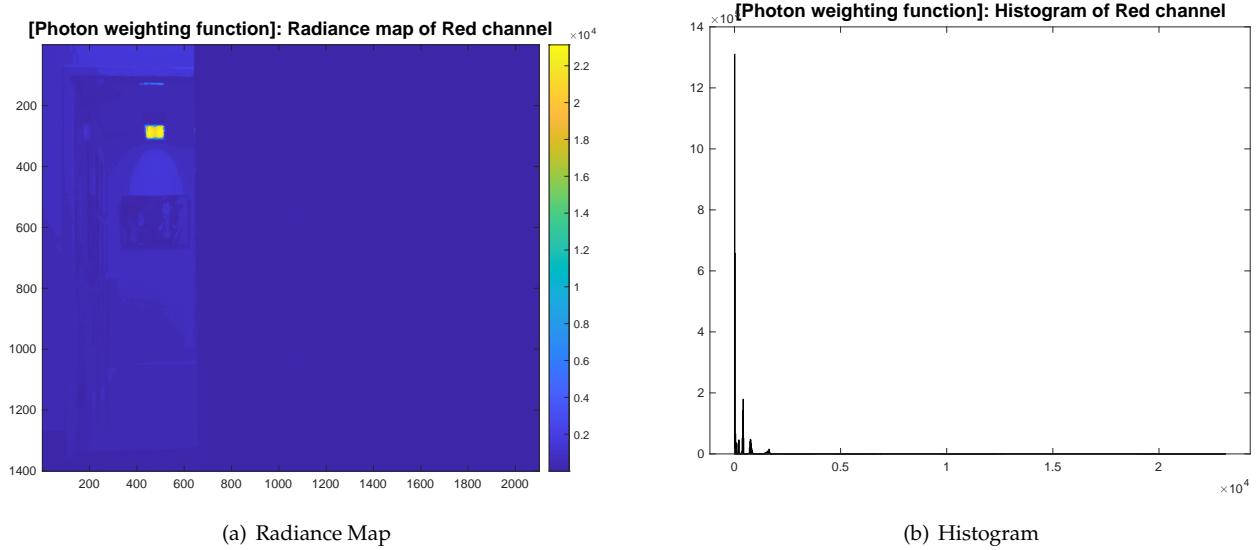


Figure 7: Radiance Map and Histogram of E_{ij}

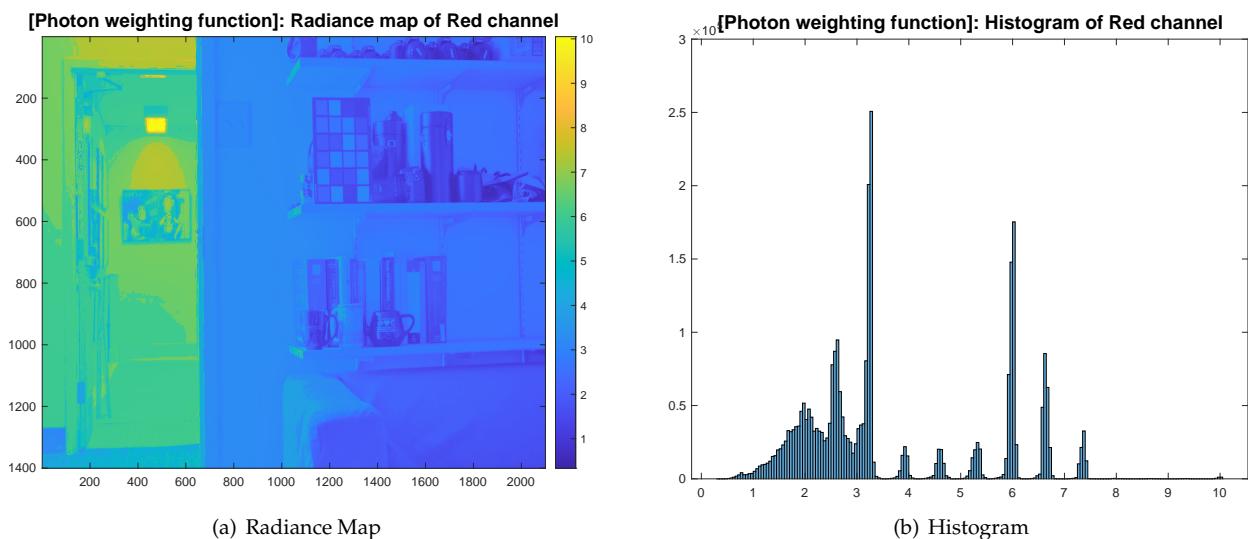


Figure 8: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

Παρατήρηση

Παρακάτω δίνονται οι χάρτες ακτινοβολιας και τα ιστογράμματα του $\ln(E_{ij})$. Οι αντίστοιχες απεικόνισεις για το E_{ij} είναι παρόμοιες με αυτές που παρουσιάστηκαν.

- Green Channel
 - Uniform weighting function

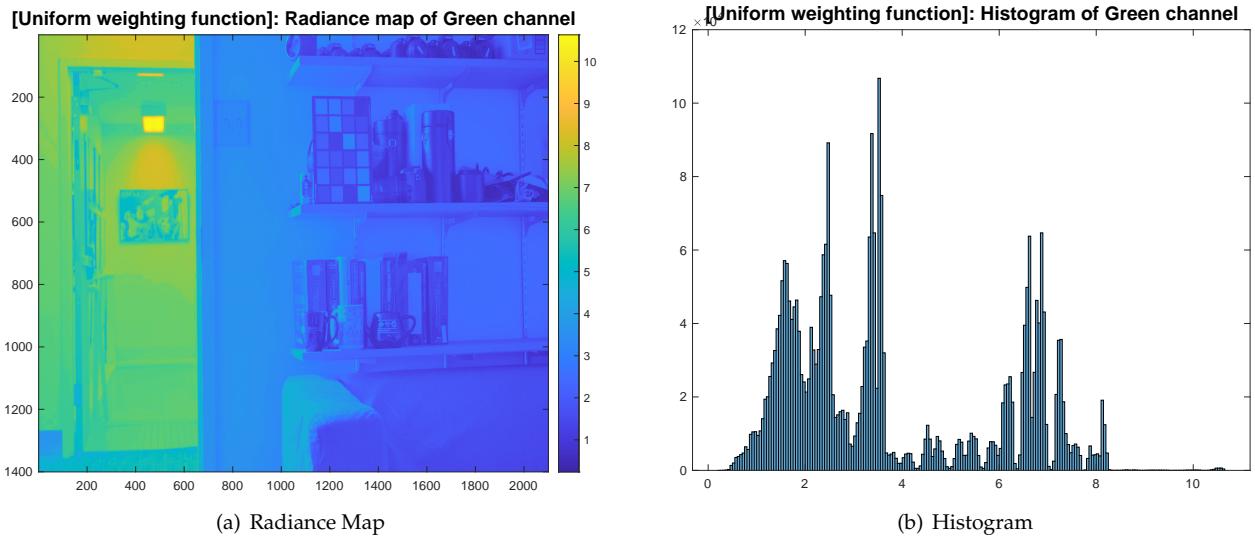


Figure 9: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

- Tent weighting function

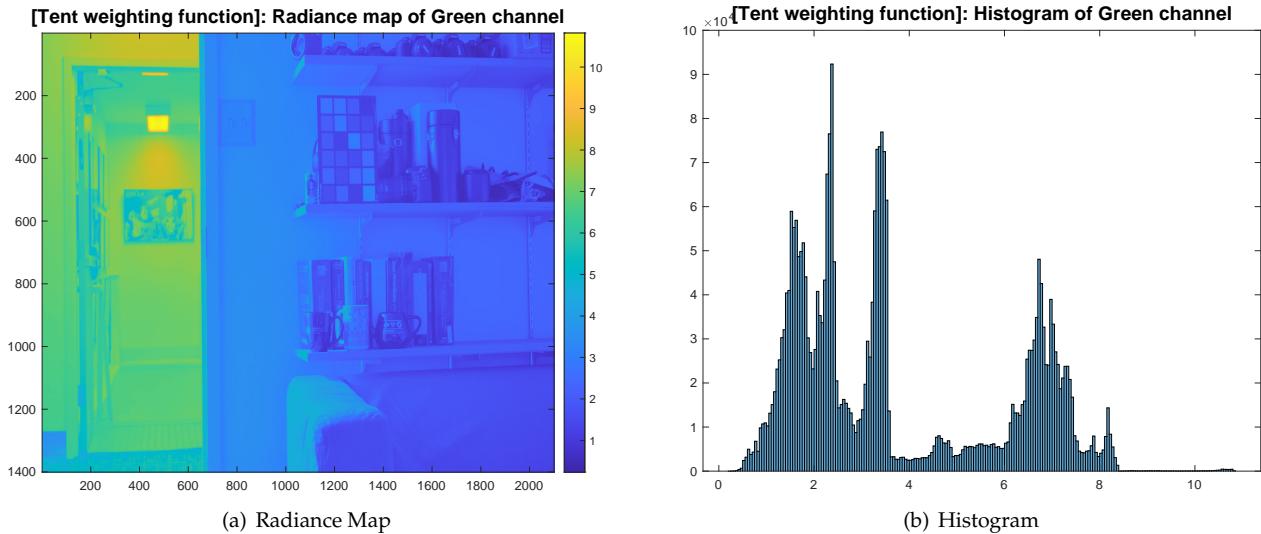


Figure 10: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

- Gaussian weighting function

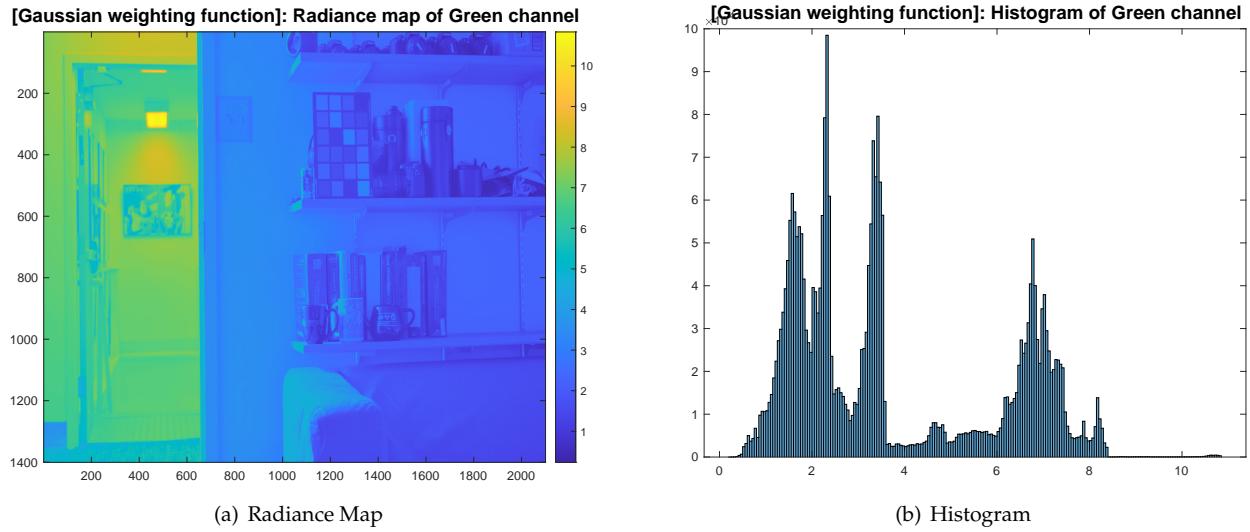


Figure 11: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

- Photon weighting function

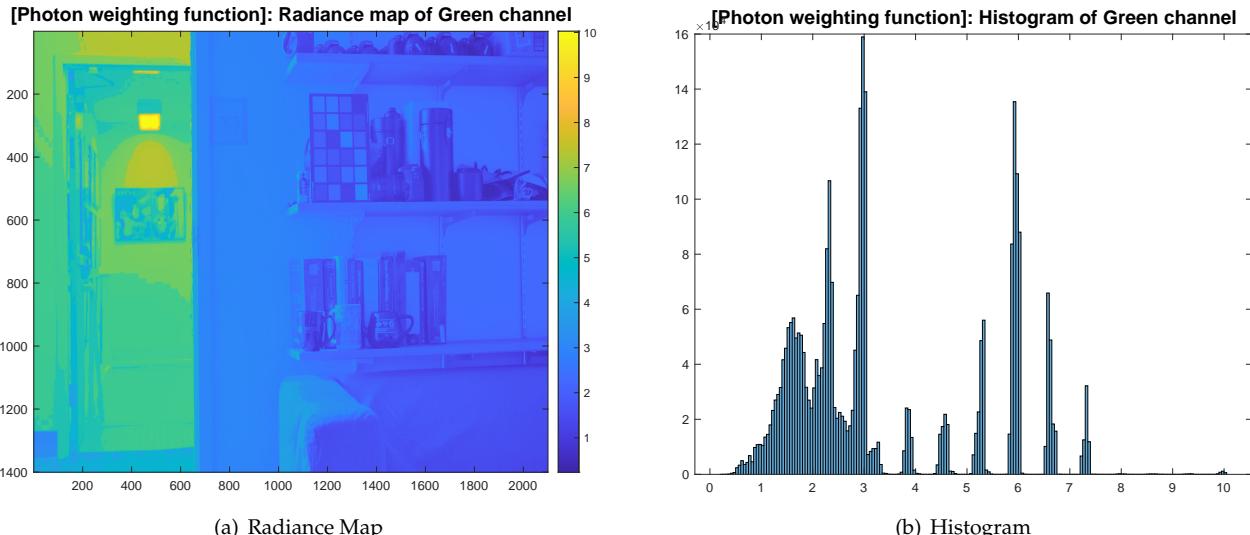


Figure 12: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

- Blue Channel
 - Uniform weighting function

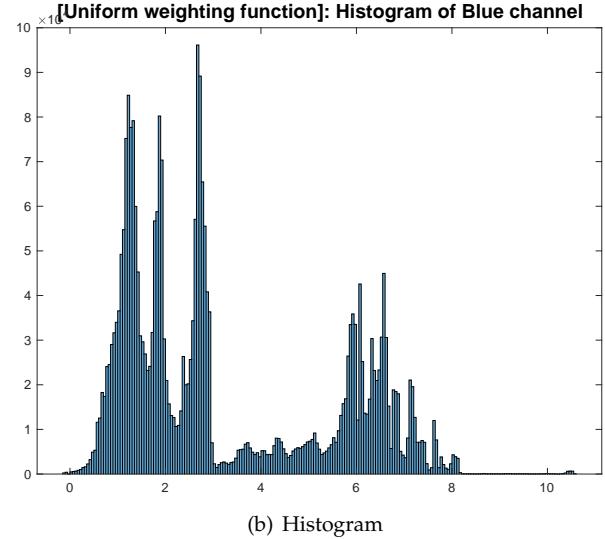
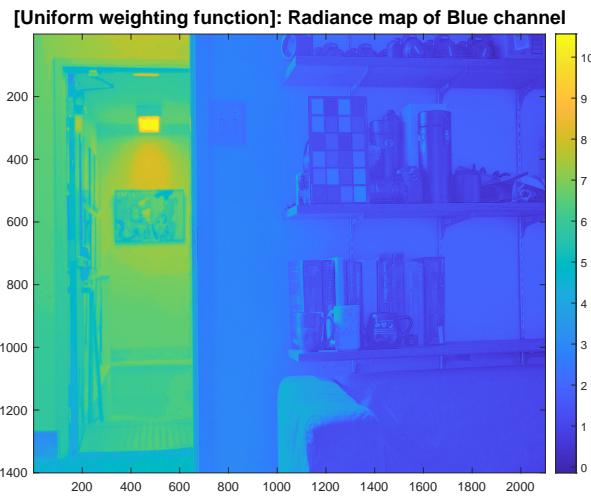


Figure 13: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

- Tent weighting function

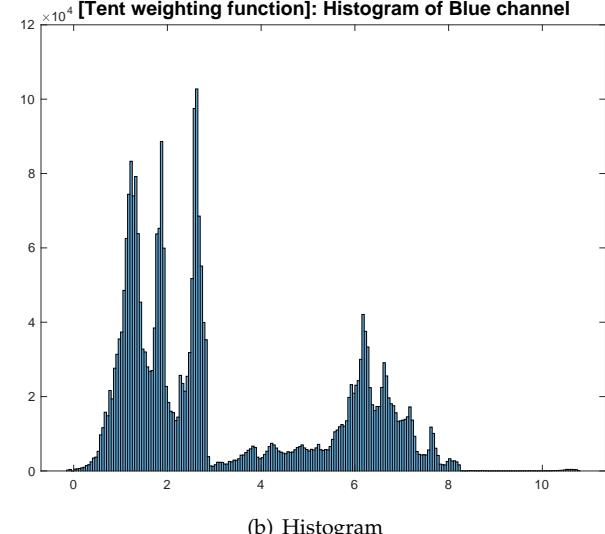
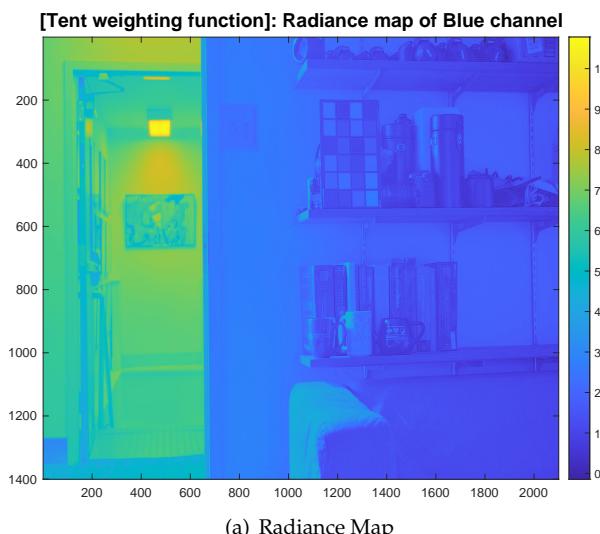


Figure 14: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

– Gaussian weighting function

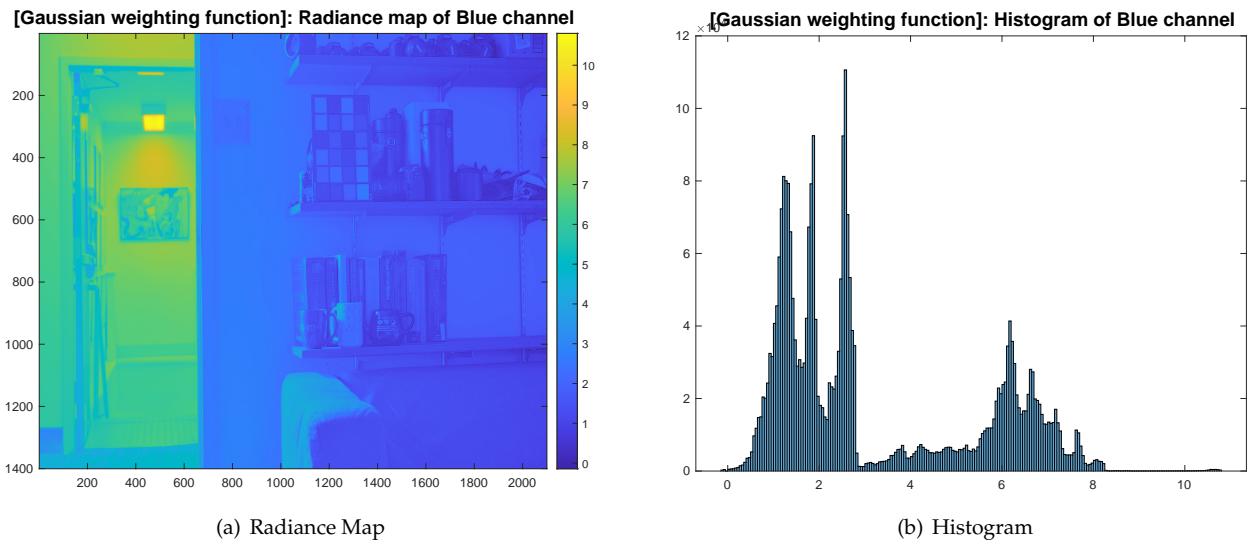


Figure 15: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

– Photon weighting function

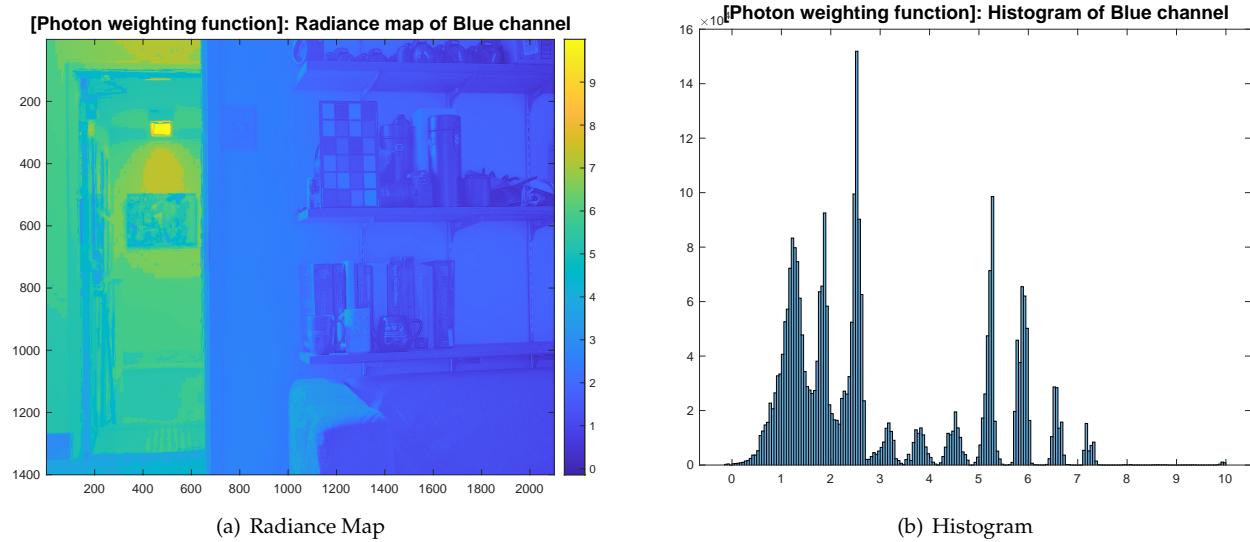


Figure 16: Radiance Map and Histogram of $\ln(E_{ij})$

Παρατήρησεις

- Πόσες από τις LDR εικόνων για κάθε σκηνή αρκούν για να εκτιμηθεί ικανοποιητικά η HDR απεικόνιση;

Δισμένης της καμπύλης ανταπόκρισης, ο αριθμός των φωτογραφιών που χρειαζόμαστε είναι συνάρτηση του δυναμικού εύρους της HDR απεικόνισης. Αν η HDR απεικόνιση έχει εύρος R και κάθε LDR απεικόνιση έχει έυρος F , τότε ο αριθμός φωτογραφιών που απαιτείται θα είναι $\lceil \frac{R}{F} \rceil$.

- Πόσα bit θα χρειαζόταν κάθε pixel για την αποθήκευση της HDR απεικόνισης; Εφόσον ο χάρτης ακτινοβολίας HDR απεικόνισης αποτελείται από τιμές κινητής υποδιαστολής (double) τότε για την αποθήκευσή της θα χρειαστούμε 8 bytes ή 64 bits για κάθε pixel

2 Gamma Correction

Στο 2o ερώτημα της εργασίας μας ζητείται η εφαρμογή της μεθόδου καθολικής απεικόνισης τόνου **gamma correction**. Η μέθοδος αυτή υλοποιείται μέσω της ρουτίνας **toneMapping**, η οποία δέχεται τον χάρτη ακτινοβολίας της σκηνής, τον κάνει **rescale** στο διάστημα [0,1] και υλοποιεί το **gamma correction** μέσω της σχέσης

$$V_{out} = V_{in}^{\gamma}$$

Στη συνέχεια, κάνει και πάλι **rescale** το V_{out} στο διάστημα [0,255] και τέλος μετατρέπει τον τύπο των δεδομένων από **double** σε **uint8**.

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε για $\gamma = 1.4$ και κάθε συνάρτηση στάθμισης είναι:
Παρατήρηση: Τα παρακάτω αποτελέσματα προέκυψαν για χάρτη ακτινοβολίας του $\ln(E_{ij})$, δηλαδή για $V_{in} = \ln(E_{ij})$

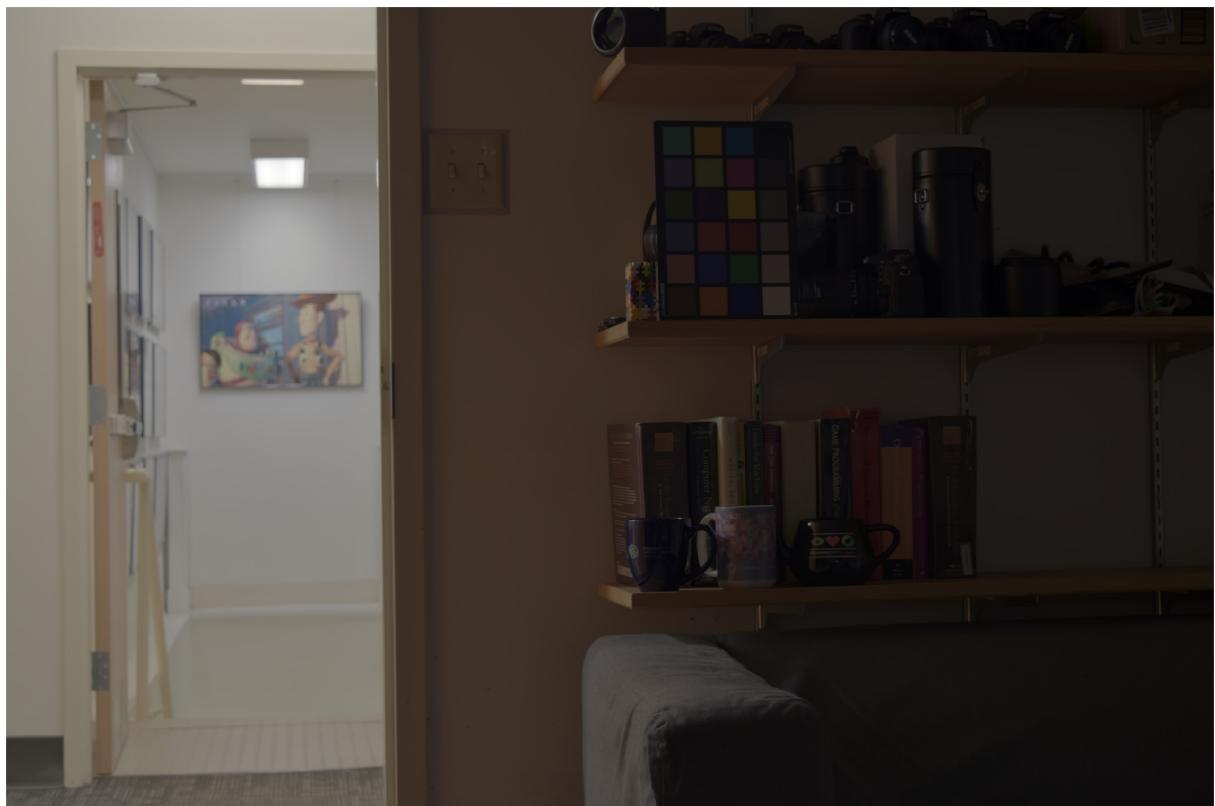
- Uniform weighting function



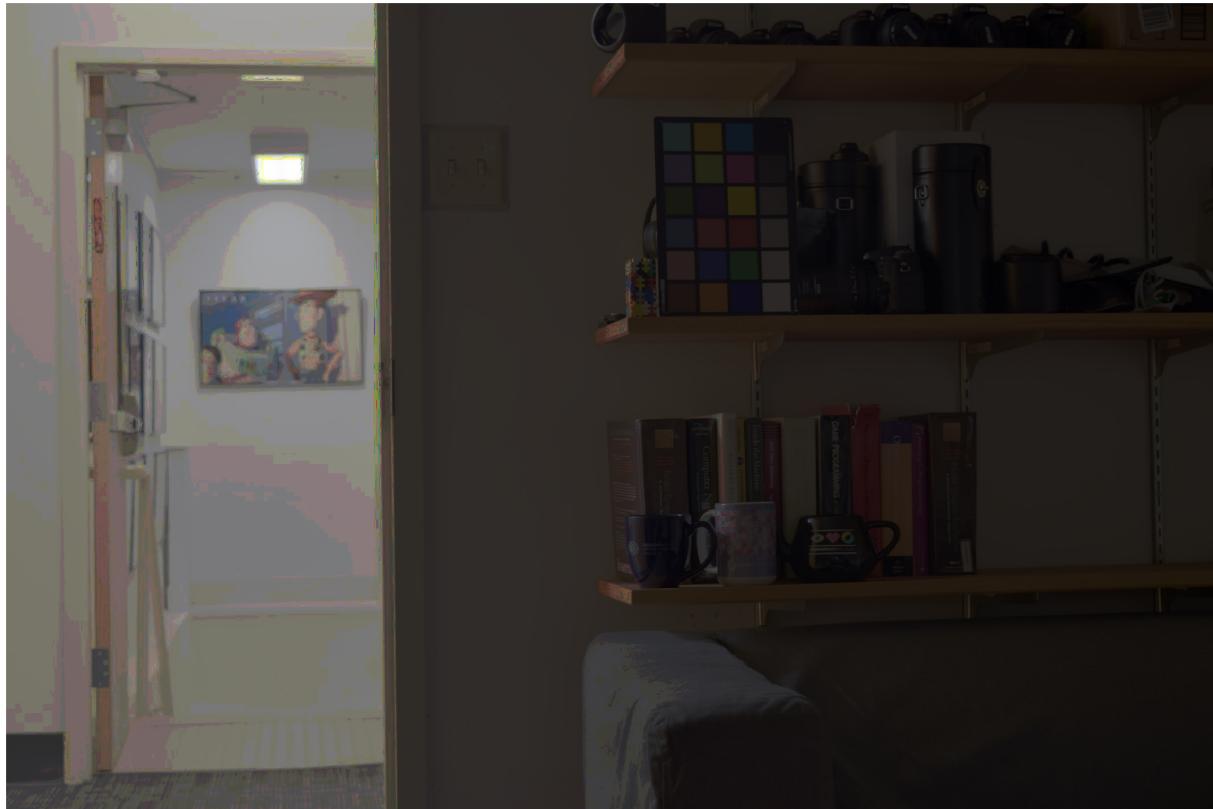
- Tent weighting function



- Gaussian weighting function



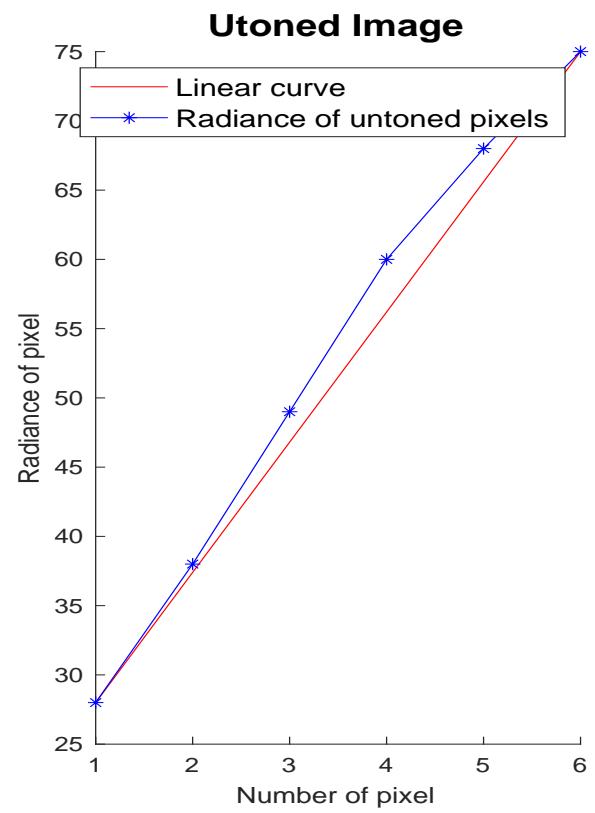
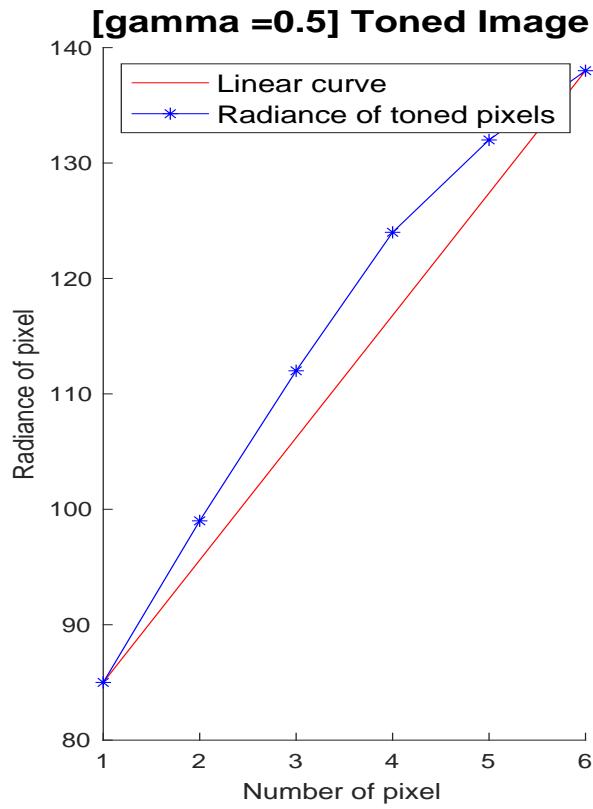
- Photon weighting function



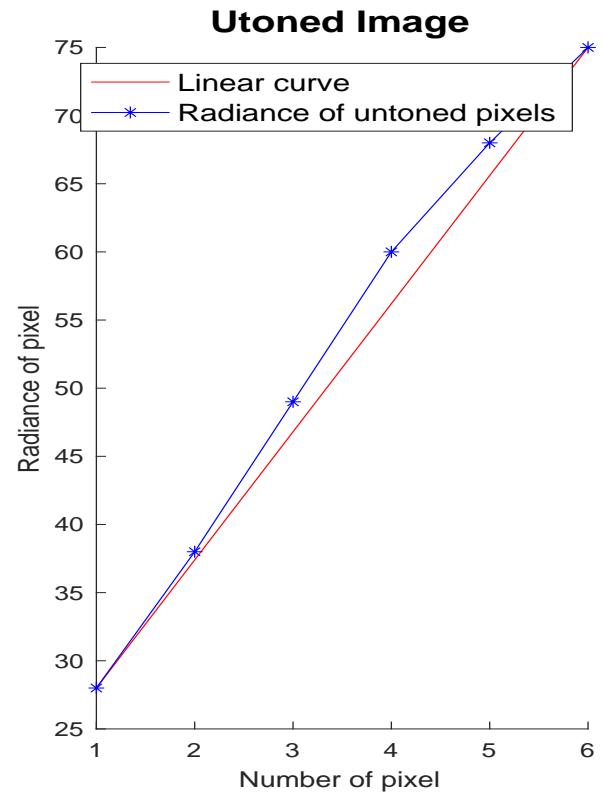
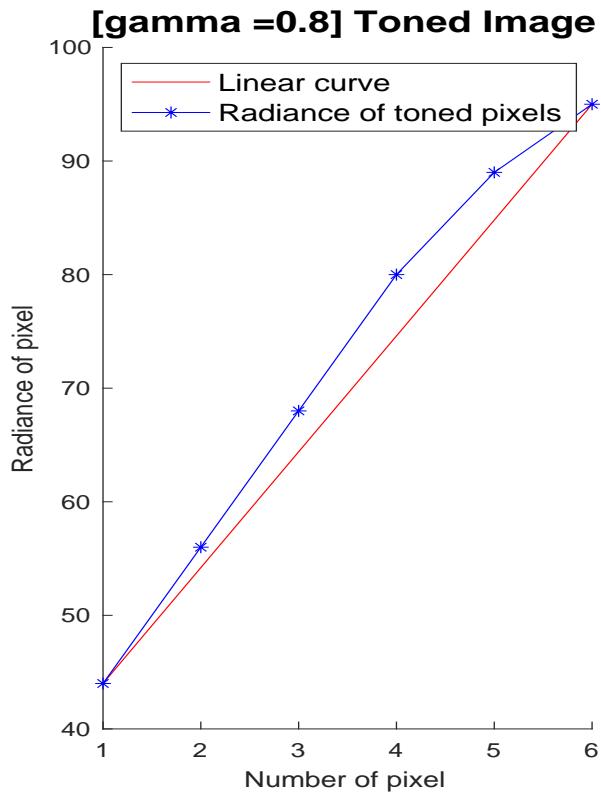
2.1 Linear Radiance of Pixels

Η μονοχρωματική απεικόνιση της εικόνας 1, περιέχει 6 περιοχές στις οποίες η φωτεινότητα αυξάνεται γραμμικά. Αρχικά, για να εντοπίσουμε τις περιοχές αυτές χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή **Image Viewer** του **matlab**. Με τον τρόπο αυτό εντοπίστηκαν 6 pixels που ανήκουν σε κάθε περιοχή. Στη συνέχεια, έγινε εκτίμηση της εικόνας εξόδου με χρήση μεθόδου **gamma correction** για $\gamma=[0.5 \ 0.8 \ 1.2 \ 1.5]$ και για $\gamma=1$ δηλαδή χωρίς **gamma correction**. Τέλος δημιουργήθηκαν γραφήματα της φωτεινότητας των 6 pixel για κάθε γ και για $\gamma=1$. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω]:

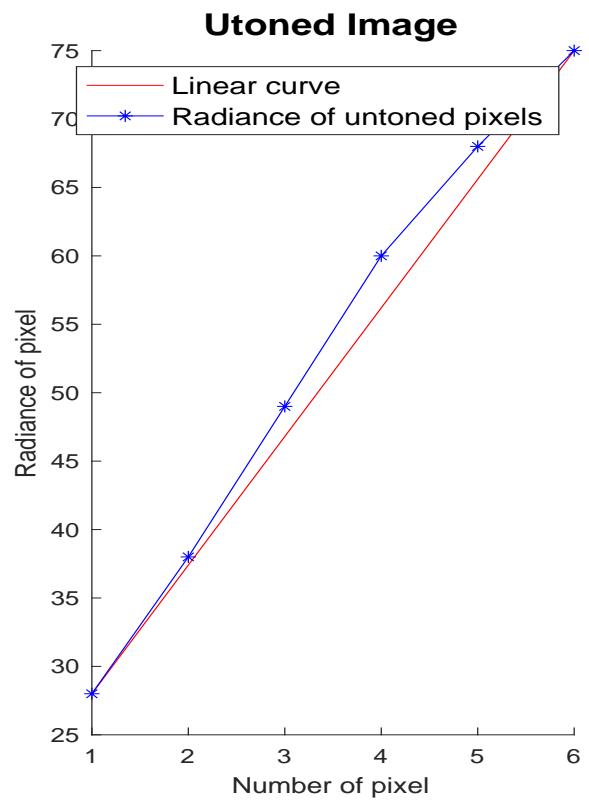
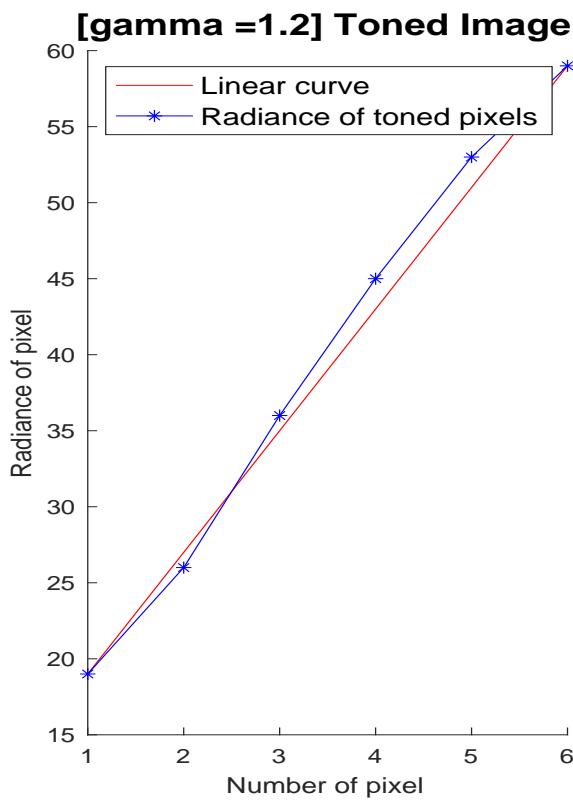
- $\gamma = 0.5$



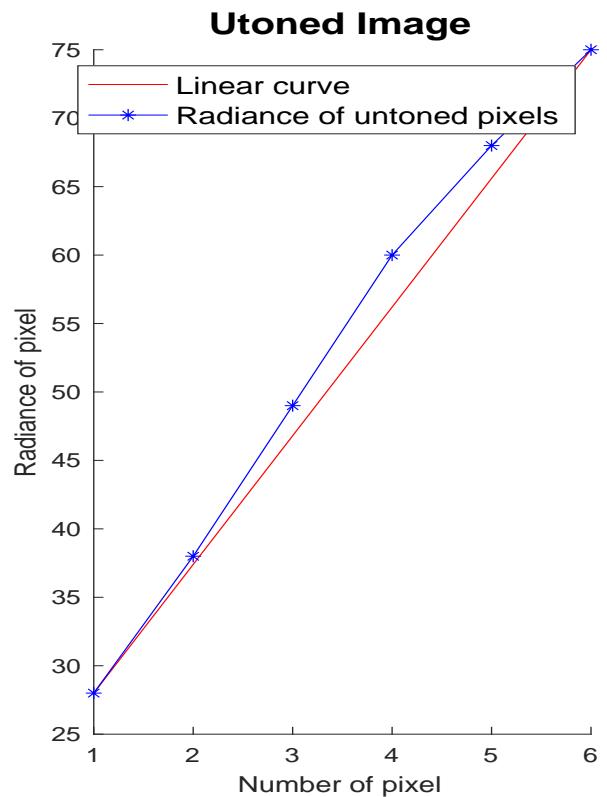
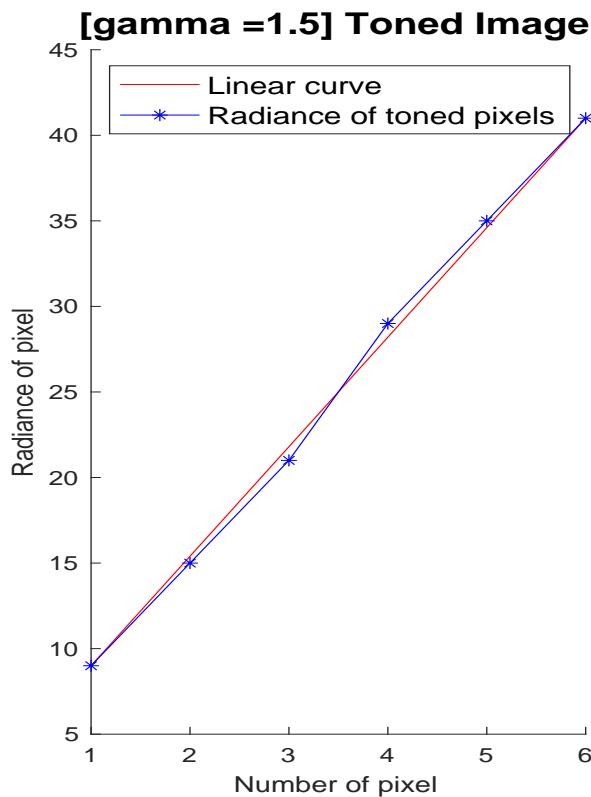
- $\gamma = 0.8$



- $\gamma = 1.2$



- $\gamma = 1.5$



Παρατήρηση

Παρατηρούμε ότι, από τα γ που δοκιμάστηκαν, αυτό που πετυχαίνει την καλύτερη γραμμικότητα είναι το $\gamma=1.5$, καθώς για $\gamma=1.5$ τα 6 σημεία πλησιάζουν περισσότερο στην ευθεία.

3 Radiometric calibration

Στο τρίτο ερώτημα μας ζητείται η εκτίμηση της καμπύλης απόκρισης της κάμερας, η οποία σύμφωνα με τους Debevec et al. ανάγεται στην εύρεση των $g(Z_{ij})$ και $\ln(E_{ij})$ που ελαχιστοποιούν τη συνάρτηση

$$\mathbf{O} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P w(Z_{ij}) [g(Z_{ij}) - \ln(E_{ij}) - \ln(\Delta t_j)]^2 + \sum_{z_{min}-1}^{z_{max}-1} [w(z) [g(z+1) - 2g(z) + g(z-1)]]^2$$

όπου N η θέση των pixel της εκάστοτε εικόνας και P ο αριθμός των φωτογραφιών. Τα προβλήματα της μορφής

$$\min \sum_{i=1}^N (a_i x - b_i)^2 \quad (1)$$

μπορούν παραμετροποιηθούν γραμμικά σε σύστημα $Ax = B$, όπου x η εξαρτημένη μεταβλητή του συστήματος, και στη συνέχεια να λυθούν ως προς x με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.

Το ίδιο θα κάνουμε και για την συνάρτηση O , δηλαδή την φέρουμε πρώτα σε γραμμικά παραμετροποιημένη μορφή και στη συνέχεια θα βρούμε τα $g(Z_{ij})$ και $\ln(E_{ij})$ που την ελαχιστοποιούν.

Οι εξαρτημένες μεταβλητές του συστήματος θα είναι:

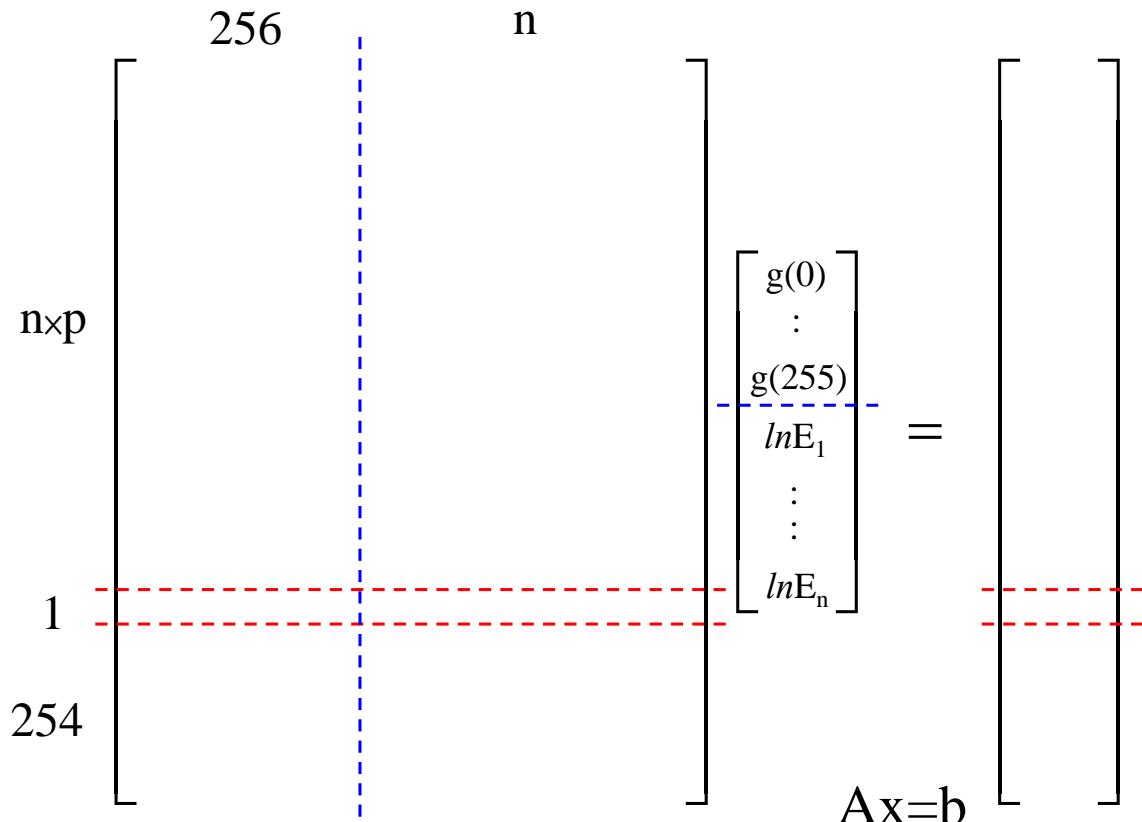
- Ο όρος $g(Z_{ij})$ ο οποίος
 - Είναι διάνυσμα διάστασης 256×1 , καθώς το όρισμα της g , Z_{ij} παίρνει τιμές στο διάστημα $[0, 255]$.
 - Πολλαπλασιάζεται με $N \times P$ όρους λόγω του πρώτου όρου και με

$$Z_{max-1} - (Z_{min-1}) - 1 = Z_{max} - Z_{min} - 1 = 254$$

όρους λόγω του δεύτερου αθροίσματος.

- Ο όρος $\ln(E_{ij})$ ο οποίος:
 - Είναι διάνυσμα διάστασης $N \times 1$, καθώς το όρισμά της \ln , E_{ij} είναι διάνυσμα διάστασης $N \times 1$
 - Πολλαπλασιάζεται με $N \times P$ όρους λόγω του πρώτου όρου

Έτσι, η συνάρτηση O θα γραφεί στη μορφή $Ax = B$ με τρόπο που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Τα παραπάνω υλοποιούνται πρακτικά με τον εξής τρόπο:

1. Αρχικοποίηση πίνακα A διάστασης $(255+n \times p) \times (256+n)$ και πίνακα b διάστασης $(255+n \times p) \times 1$
2. Υλοποίηση του γινομένου

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P g(Z_{ij}) w(Z_{ij})$$

θέτοντας $A(i,j) = w(Z_{ij})$ για τα κατάλληλα i και j

3. Υλοποίηση του γινομένου

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P -\ln(E_{ij}) w(Z_{ij})$$

θέτοντας $A(i,j) = -w(Z_{ij})$ για τα κατάλληλα i και j

4. Υλοποίηση του γινομένου

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P -\ln(\Delta t_j) w(Z_{ij})$$

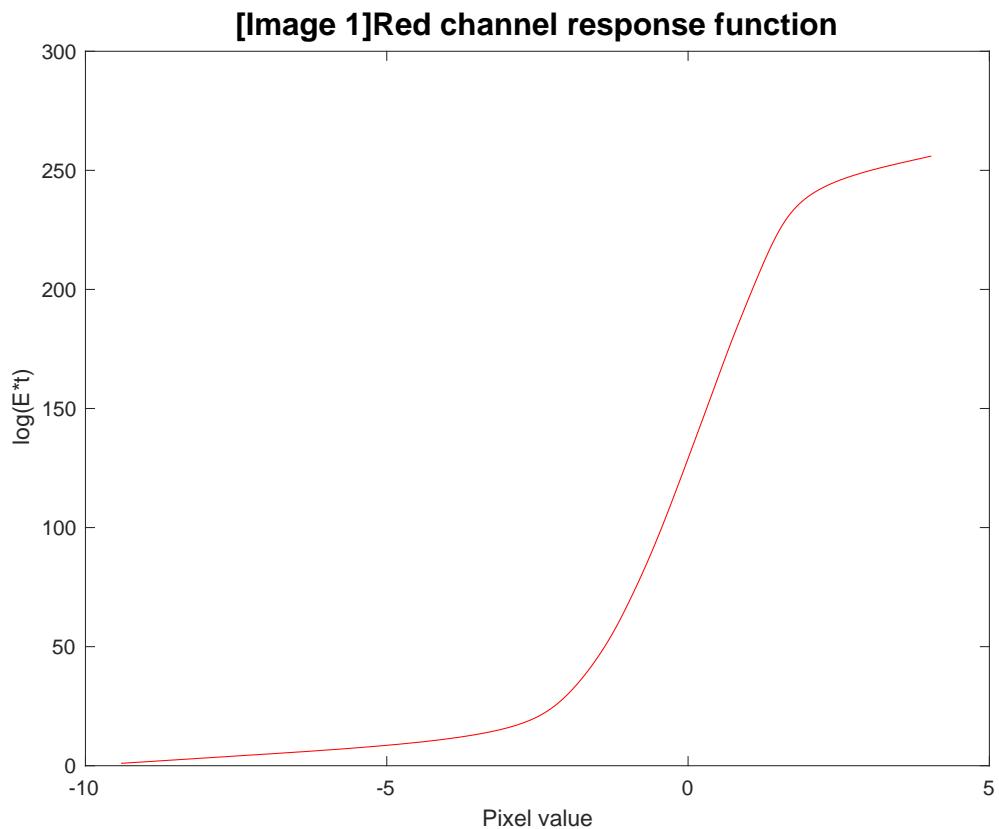
θέτοντας $b(j) = -w(Z_{ij})(-\ln(\Delta t_j))$ για τα κατάλληλα j

Με παρόμοιο τρόπο υλοποιούμε και τον δεύτερο όρο, τον "όρο ομαλότητας".

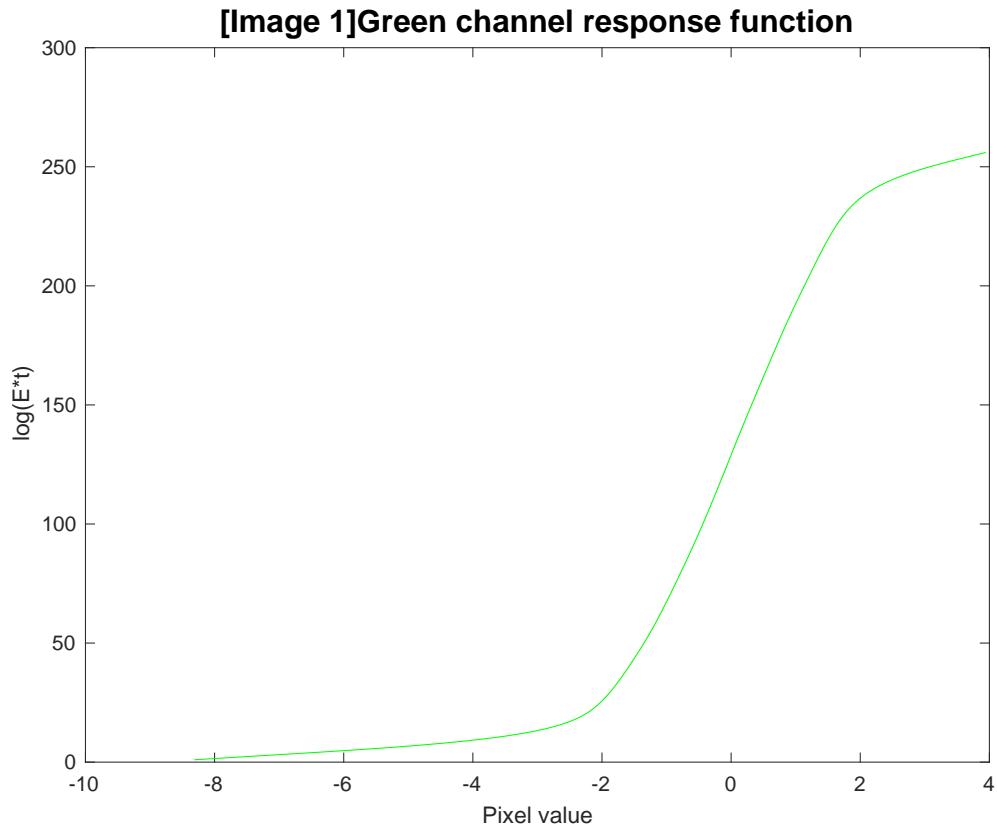
Τέλος, θέτουμε τον περιορισμό $g(Z_{mid}) = 0$, $Z_{mid} = \frac{1}{2}(Z_{min} + Z_{max}) = 129$.

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω παίρνουμε τις εξής καμπύλες απόκρισης, για Gaussian συνάρτηση στάθμισης:

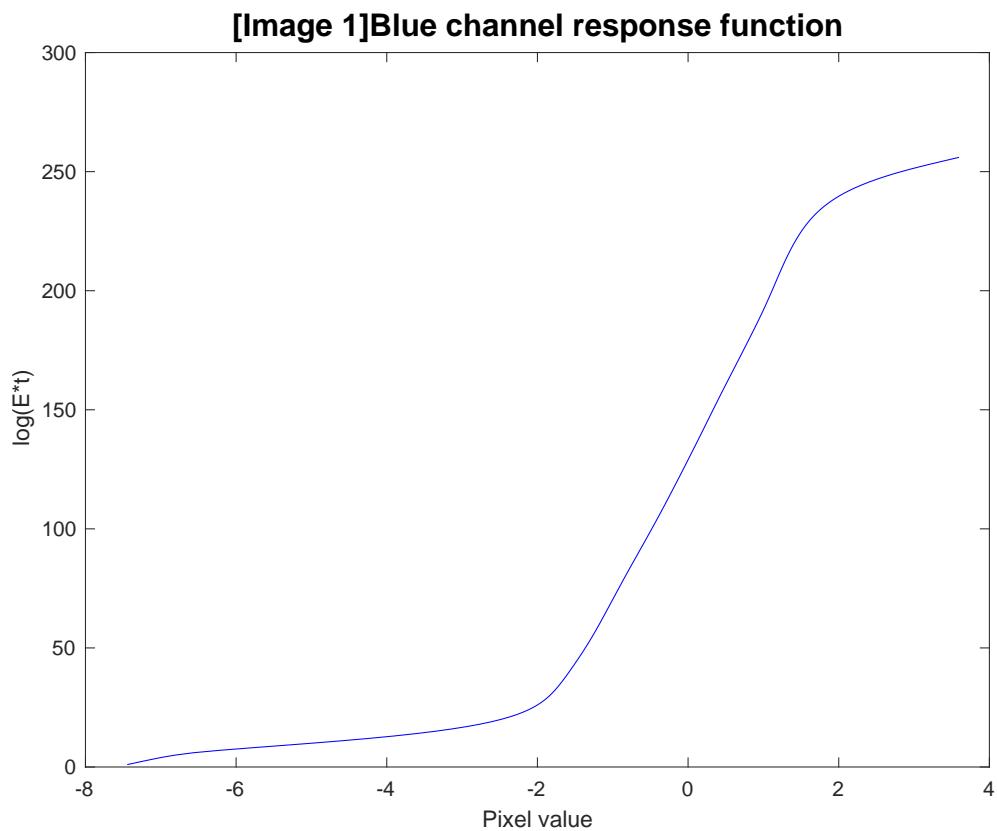
- Εικόνα 1
 - Red Channel



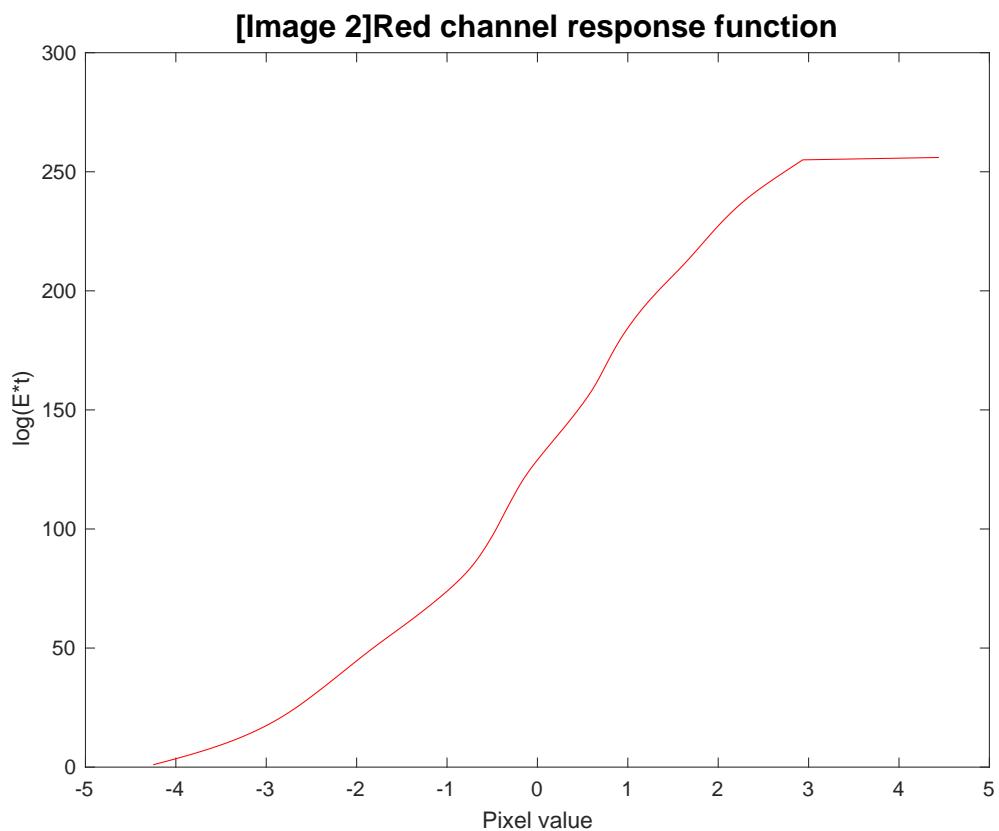
– Green Channel



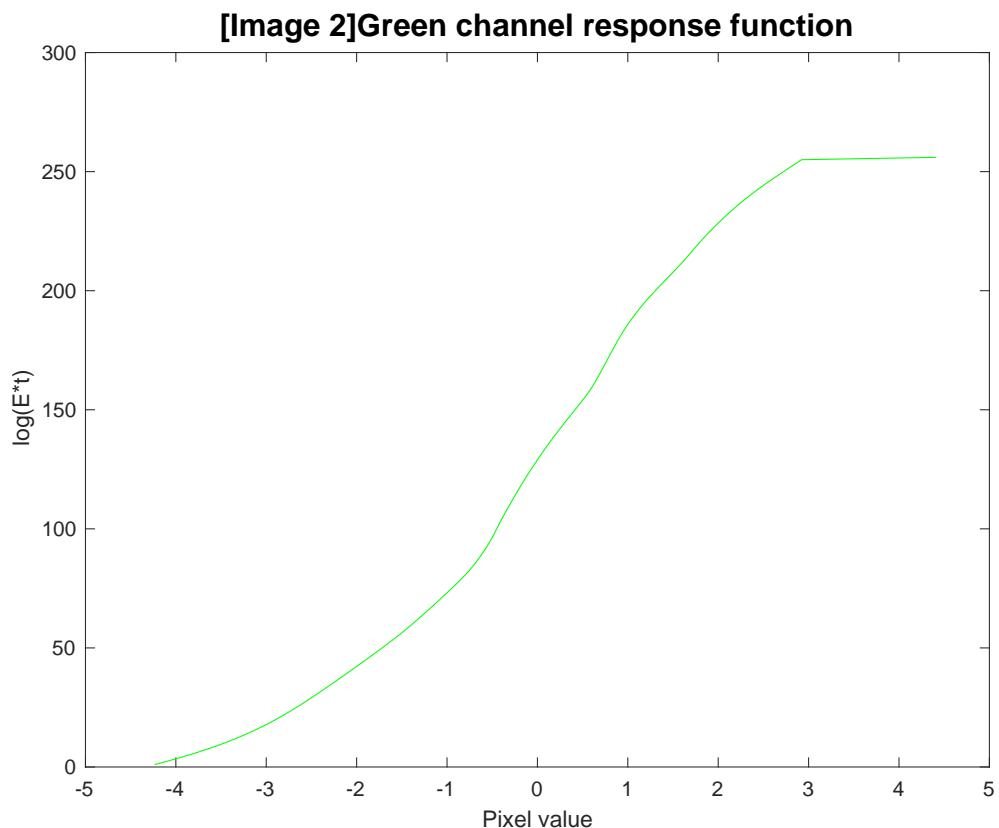
– Blue Channel



- Εικόνα 2
 - Red Channel



- Green Channel



– Blue Channel

