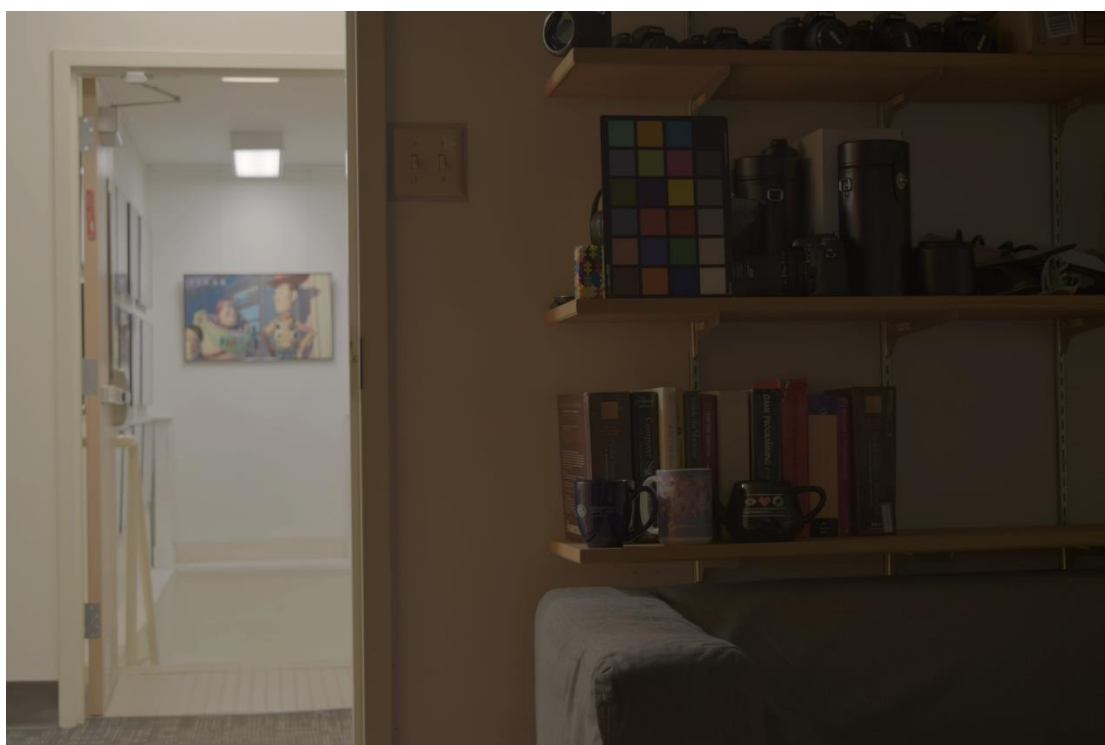




ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



## 8<sup>ο</sup> Εξάμηνο : «Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας»

Ακαδ. έτος 2021-22 | Ημ.Παράδοσης 12/7/2022

### 3<sup>η</sup> Εργασία : «High Dynamic Range Imaging»

του Σταύρου Βασίλειου Μπουλιόπουλου 9671

Διδάσκων θεωρίας : Αναστάσιος Ντελόπουλος

Επιβλέπων εργασίας: Λεωνίδας Αλαγιαλόγλου

## Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή και ζητούμενα.....	2
2. Εκτέλεση των αρχείων κώδικα .....	2
3. Παρουσίαση προβλημάτων που αντιμετωπίσα,δομής κώδικα και αποτελεσμάτων .....	3

## 1.Εισαγωγή και ζητούμενα

Στην 3<sup>η</sup> εργασία του μαθήματος υλοποιήσαμε μια σειρά από συναρτήσεις σχετικές με την επεξεργασία μιας σειράς από εικόνες χαμηλού δυναμικού εύρους (LDR) που λήφθηκαν από την ηλεκτρονική συσκευή (ψηφιακή κάμερα NIKON D3300 με διακόπτη f/4.8). Αυτές οι εικόνες έχουν διαφορετικό χρόνο λήψης και διαφορετικό ποσό έκθεσης. Τελικά, η ενσωμάτωση αυτού του burst LDR εικόνων μιας σκηνής μπορεί να οδηγήσει σε μία HDR απεικόνιση εικόνας που αντιπροσωπεύει ως προς το ανθρώπινο μάτι τις αληθοφανείς εντάσεις φωτεινότητας της σκηνής. Ερευνήσαμε έννοιες όπως image acquisition pipeline, exposure bracketing, radiometric calibration και βασιστήκαμε πάνω στους αλγορίθμους του P.Debevec για τον υπολογισμό του χάρτη ακτινοβολίας της HDR εικόνας.

## 2. Εκτέλεση των αρχείων κώδικα

Η εφαρμογή των συναρτήσεων και η απεικόνιση των αποτελεσμάτων γίνονται με τα αρχεία **demo1.m** , **demo2.m** , **demo3.m** . Πρόσθετες βοηθητικές συναρτήσεις σε αυτές που ζητήθηκαν είναι οι : **debugR.m** (για τον εντοπισμό του εύρους τιμών ενός πίνακα), **weights.m** (για την στάθμιση ενός pixel τύπου double εύρους 0-1), **printerRadM.m** (για την προβολή των αποτελεσμάτων σε figures και αποθήκευση των

εικόνων) και **mergeLDRStackV2.m** (για την ενσωμάτωση των LDR εικόνων σε HDR λαμβάνοντας υπόψιν την συνάρτηση απόκρισης της κάμερας).

### 3. Παρουσίαση προβλημάτων που αντιμετωπίσα, δομής κώδικα και αποτελεσμάτων

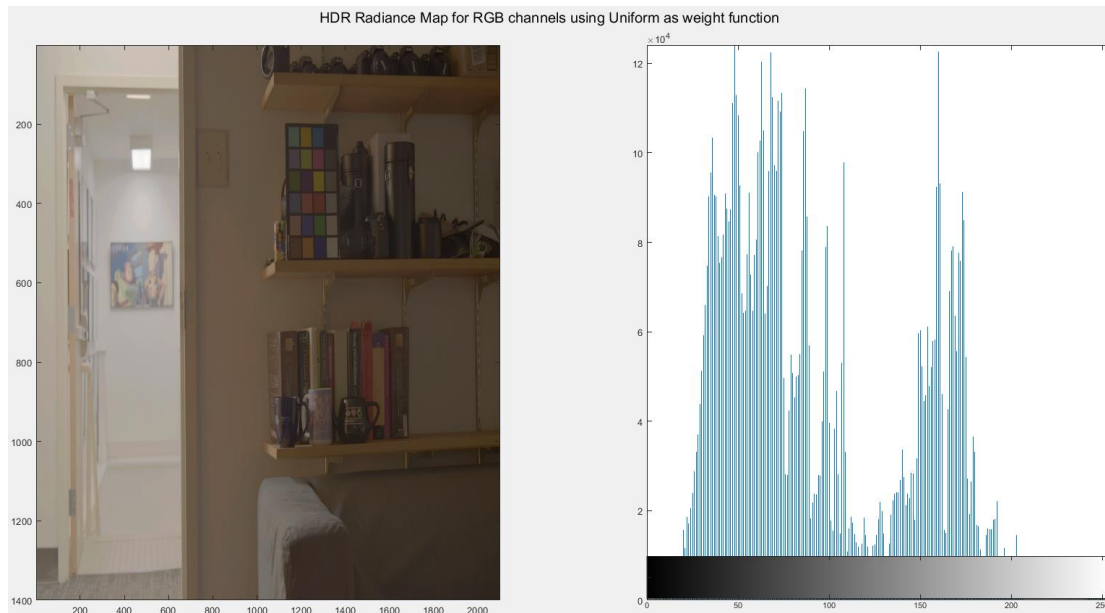
Μεγάλη βάση σε όλους τους κώδικες δόθηκε η προσεκτική μετατροπή τύπων εικόνων (double 0...255, 0...1, uint8 0...255) και η καλή χρήση της Matlab για matrix-logical indexing. Επίσης, αρκετά ενοχλητικό ήταν ότι διάβαζα στην αρχή τις εικόνες με λάθος σειρά και μπερδευόντουσαν οι χρόνοι έκθεσης και οι εικόνες. Ακόμη, άλλαξα την ονομασία της περιστραμμένης εικόνας από τον 2<sup>ο</sup> φάκελο εικόνων σε sample2-05.

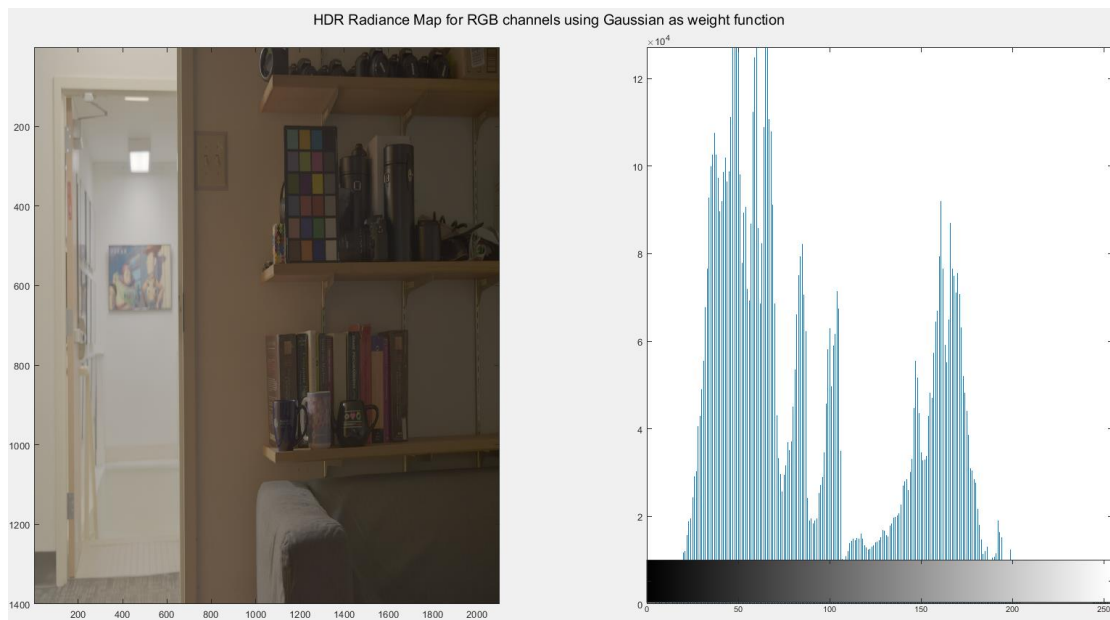
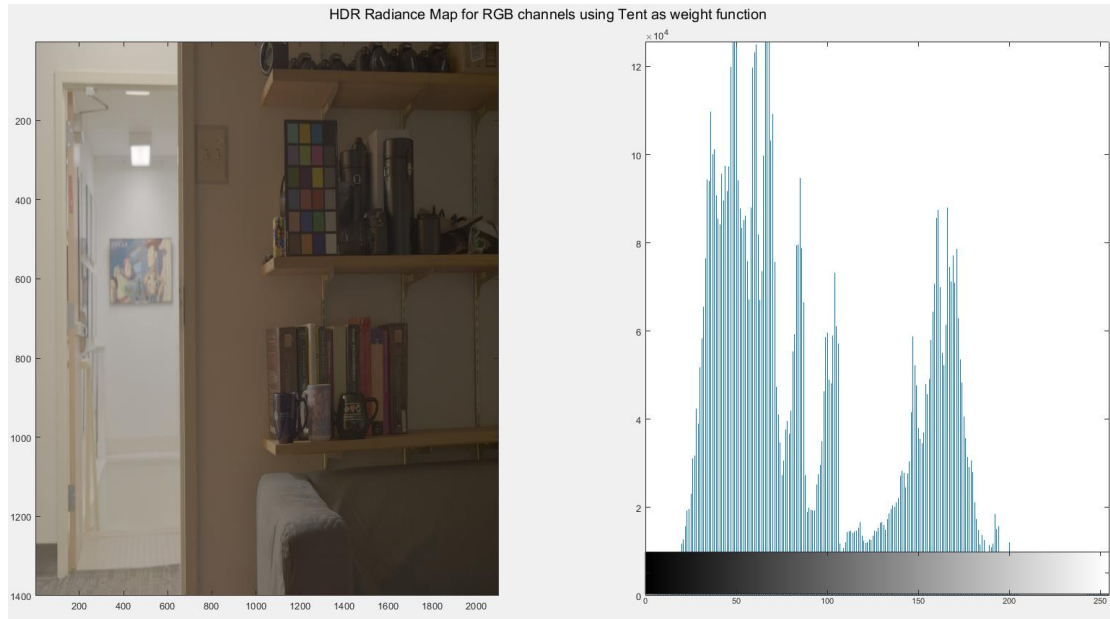
Για την **ενσωμάτωση πολλαπλών LDR εικόνων σε μία HDR απεικόνιση** χρησιμοποιείται η *mergeLDRStack()*, η οποία δέχεται σαν είσοδο μια λίστα  $k$  μονοχρωματικών εικόνων *imgStack* εισόδου διαφορετικού χρόνου έκθεσης ( $\Delta t$ ), τους χρόνους έκθεσης, την επιλογή συνάρτησης στάθμισης και επιστρέφει τον χάρτη ακτινοβολίας με τιμές κινητής υποδιαστολής (double που έχει  $2^3 = 8$  bytes). Γι' αυτόν τον λόγο κιόλας για να εκτιμηθεί ικανοποιητικά η HDR απεικόνιση θέλουμε 9 εκθέσεις φωτογραφιών τύπου LDR για να μπορούμε να έχουμε τρία διαφορετικά επίπεδα έκθεσης για τη λεπτομέρεια σκιάς, τρία για τους μεσαίους τόνους και τρία για τα τονισμένα σημεία, διασφαλίζοντας ότι μπορούμε να καλύψουμε ένα ευρύτερο εύρος. Αρχικά, στην εκτέλεση της συνάρτησης σταθμίζουμε τα αρχικά pixels κάθε εικόνας υπολογίζοντας το  $W(Z_{ij})$  βάσει της επιλεγμένης συνάρτησης βάρους με την *weights()* που μας βοηθάει για να αποφύγουμε τον κορεσμό ( $Z_{\text{ελαχιστο}} = 0.04, Z_{\text{μεγιστο}} = 0.96$ ) και για να

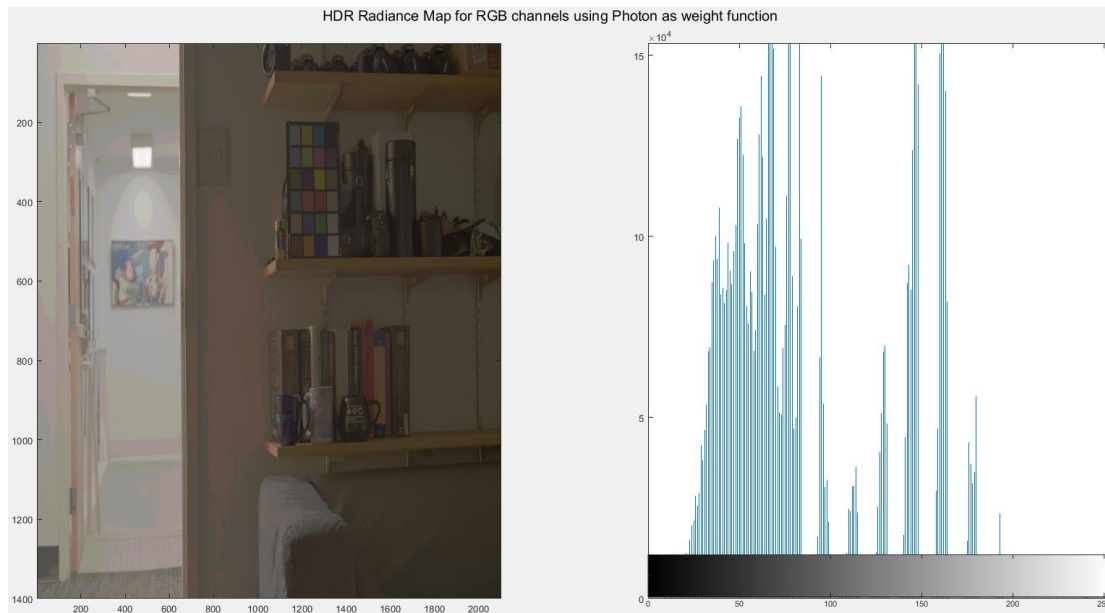
μειώσουμε τον θόρυβο των εικονοστοιχείων. Στην συνέχεια ακολουθώντας τον τύπο:  $\ln(E_i) = \frac{up}{down} (1)$ , όπου

$$up = \sum_{k=1}^K W(Z_{ij}^k)(g(Z_{ij}^k) - \ln(\Delta t_k)) \text{ και}$$

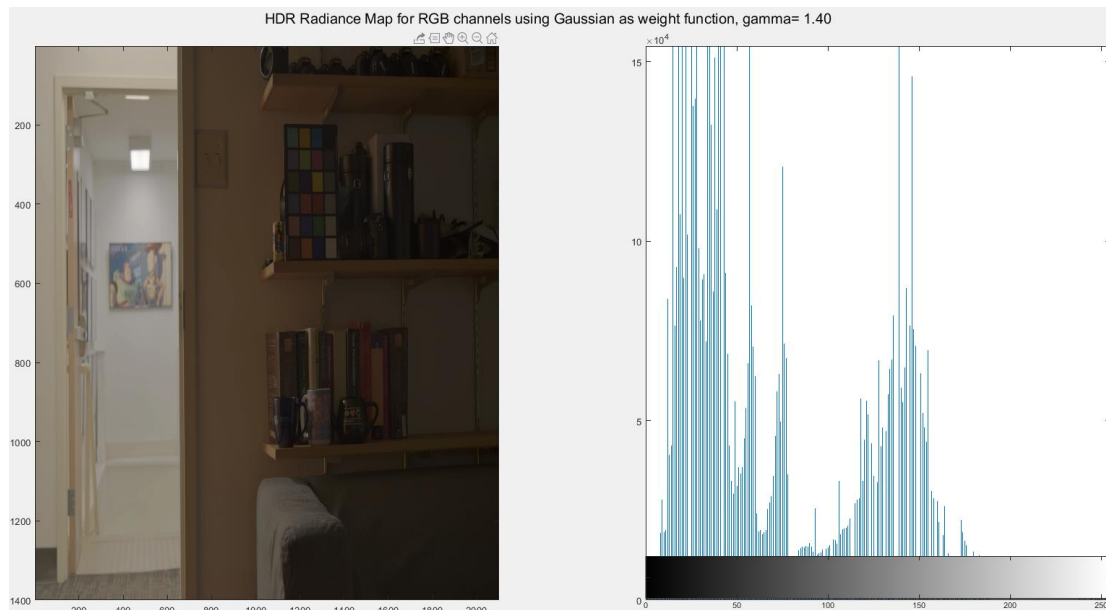
$down = \sum_{k=1}^K W(Z_{ij}^k)$ . Σε αυτή την version της συνάρτησης θεωρούμε γραμμική καμπύλη απόκρισης κάμερας και  $g(Z_{ij}^k) = \ln(imgStack_k)$ . Προσέχω ότι τα κορεσμένα μηδενικά σημεία που απειρίζουν κατά την λογαρίθμιση αυτή θα έχουν μηδενισμένη τιμή  $g(Z_{ij}^k)$  ώστε να αγνοηθούν. Τέλος, εντοπίζω τυχόν κακούς συντελεστές που εμπλέκονται στην πράξη (1) και επιστρέφω τον ζηούμενο χάρτη. Στο demo1 για κάθε χρώμα ανακτούμε τον χάρτη ακτινοβολίας HDR εικόνας και συνδυάζοντας τους τρεις χάρτες παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα RGB εικόνων (αναλυτικότερα και τα 12 αποτελέσματα με τα ιστογράμματα κατά την εκτέλεση του αρχείου).



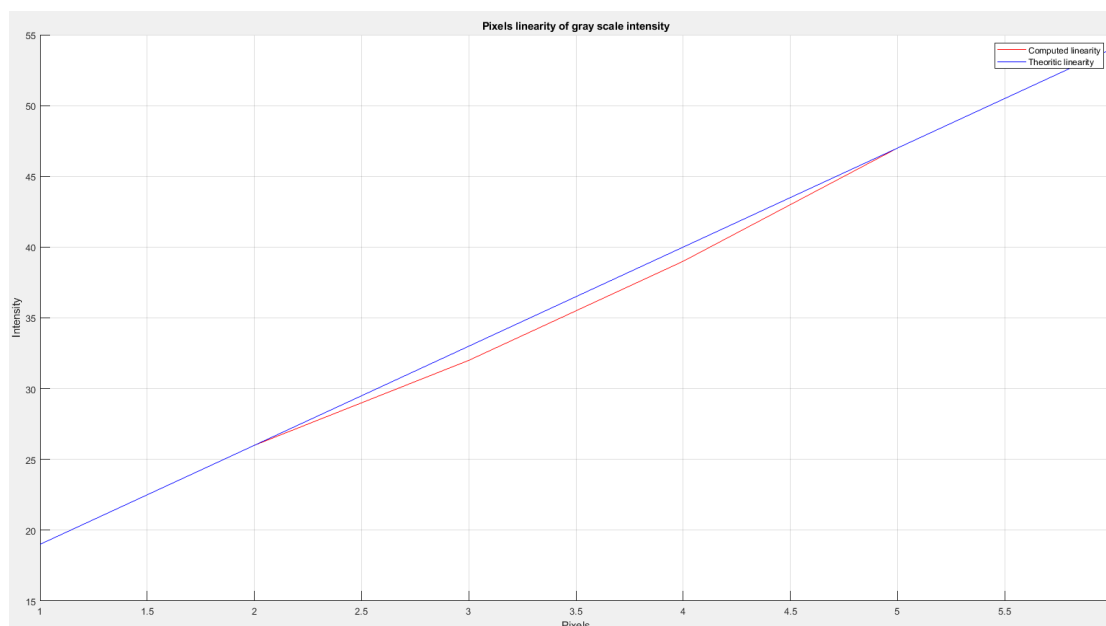




Για την **απεικόνιση τόνου** χρησιμοποιείται η *toneMapping()*, η οποία δέχεται σαν είσοδο τον χάρτη ακτινοβολίας με 256 στάθμες κβαντισμού(*uint8*) και επιστρέφει την εικόνα *uint8* τύπου που υπέστη τόνωση κατά συντελεστή διόρθωσης *gamma*. Συγκεκριμένα, στην συνάρτηση μετατρέπεται ο χάρτης ακτινοβολίας σε τύπο *double* εύρους τιμών 0 έως 1 και εφαρμόζεται η ύψωση των τιμών αυτών εις την δύναμη του *gamma*. Τέλος, εφαρμόζεται η αντιστροφή του τύπου από *double* εύρους 0-1 σε *double* 0-255 και ύστερα σε *uint8*. Στο *demo2* φαίνεται η εφαρμογή της μεθόδου αυτής στον χάρτη ακτινοβολίας υπό συνάρτηση βάρους την Γκαουσιανή και μετά από δοκιμές παραθέτω παρακάτω την διορθωμένη κατά *gamma* εικόνα που πιστεύω είναι η πιο ρεαλιστική αποτύπωση της σκηνής κατά το ανθρώπινο μάτι βάσει της φαντασίας μου για την συσχέτιση του φωτιζόμενου διαδρόμου και του απόμακρου σκοτεινισμένου δωματίου.



Προαιρετικά στο demo2 εντόπισα την κοινή κατακόρυφο των σημείων της πολύχρωμης παλέτας που είναι στην δεξιά στήλη από το άσπρο(κάτω δεξιά) μέχρι το μαύρο(πάνω δεξιά). Δοκιμαστικά και με την βοήθεια της *imagesc()* στα προβαλλόμενα figures κατέληξα στις οριζόντιες συντεταγμένες των τετραγώνων χρώματος. Τέλος, αφού βρήκα τις 2D συντεταγμένες των 6 pixel-τετραγώνων κατέληξα ότι πράγματι βλέπω γραμμική συμπεριφορά ως προς την αλλαγή της φωτεινότητας χάρη στην φύση της ανακλαστικότητας των μερών της παλέτας. Παρακάτω το σχετικό αποτέλεσμα:

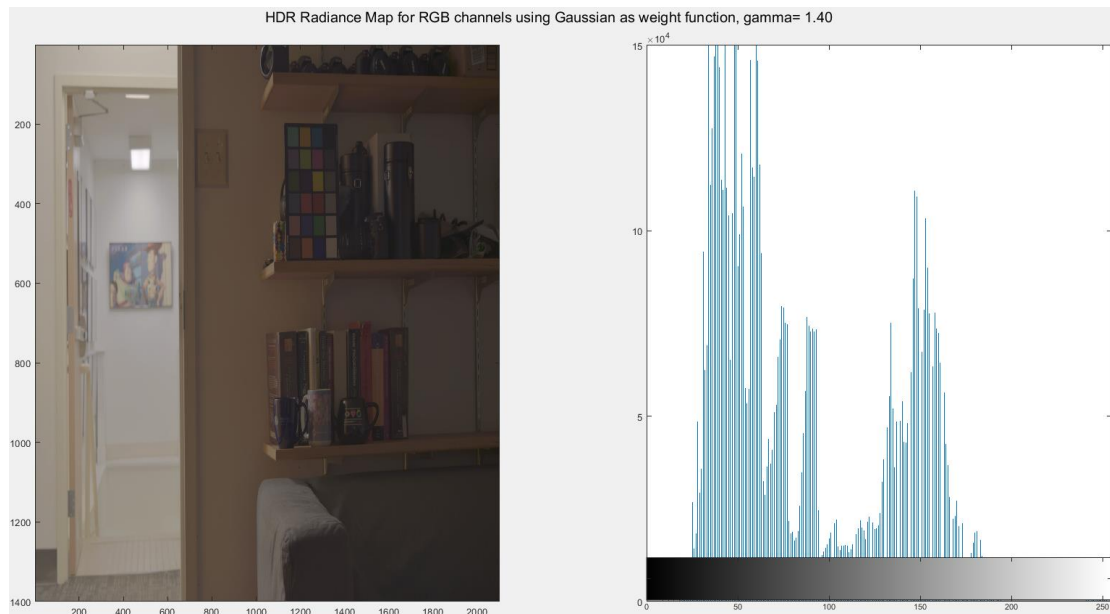




Για την **ραδιομετρική βαθμονόμηση κατά Debevec** χρησιμοποιήθηκε η *estimateResponsiveCurce()*, η οποία δέχεται σαν είσοδο μια λίστα  $k$  μονοχρωματικών εικόνων *imgStack* εισόδου διαφορετικού χρόνου έκθεσης( $\Delta t$ ), τους χρόνους έκθεσης, τον συντελεστή εκτίμησης *smoothingLamda* (μεγάλος αν η εικόνα έχει θόρυβο), την επιλογή συνάρτησης στάθμισης και τέλος επιστρέφει την καμπύλη απόκρισης της κάμερας (camera response function-CRF) ως μορφή  $256 \times 1$  look up table (LUT). Αρχικά, υποδειγματοληπτώ την λίστα εικόνων μου με συχνότητα δειγματοληψίας pixels ανάλογα με τις διαστάσεις της κανονικής εικόνας και φέρνω τα δεδομένα σε μορφή  $[m \times n, k]$  όπου  $m \times n$  είναι τα δειγματοληπτούμενα pixels. Ύστερα από δοκιμές για 1<sup>η</sup> εικόνα διαστάσεων  $2100 \times 1400$  έχω συχνότητα δειγμάτων ίση με 64 ενώ για την 2<sup>η</sup> εικόνα διαστάσεων  $1087 \times 723$  έχω τέτοια των 32, ώστε να αντλήσω ικανοποιητικά δείγματα που θα οδηγήσουν να μεν σε αντιπροσωπευτική εκτίμηση της CRF αλλά αργότερα στην συνάρτηση και σε όχι τόσο ασύμφορη υπολογιστική πολυπλοκότητα. Στην συνέχεια, υπολογίζονται τα σταθμισμένα pixels βάσει της επιλεγμένης συνάρτησης βάρους. Τέλος, υλοποιείται ο αλγόριθμος του P. Debevec για την μοντελοποίηση του προβλήματος και την λύση του συστήματος  $x = A/b$  όπου  $/$  είναι η πράξη [mldivide](#). Στο demo3 για κάθε εικόνα εφαρμόζεται η εκτίμηση της CRF και μετά απο δοκιμές καταλήγω στην επιλογή της Γκαουσιανής για συνάρτηση βάρους και σε συγκεκριμένα *smoothingLamda* αναλόγως το κανάλι χρώματος που κάνω την εκτίμηση. Μετά τον υπολογισμό και την προβολή σε plots των CRF, υπολογίζω τους χάρτες ακτινοβολίας με την βοήθεια της *mergeLDRStackV2()* που διαφέρει ως προς το ότι πλέον  $g(Z_{ij}^k)$  είναι σύμφωνη με τον LUT της CRF. Τέλος, βασιζόμενος στους χάρτες ακτινοβολίας εξάγω και προβάλλω παρόμοια

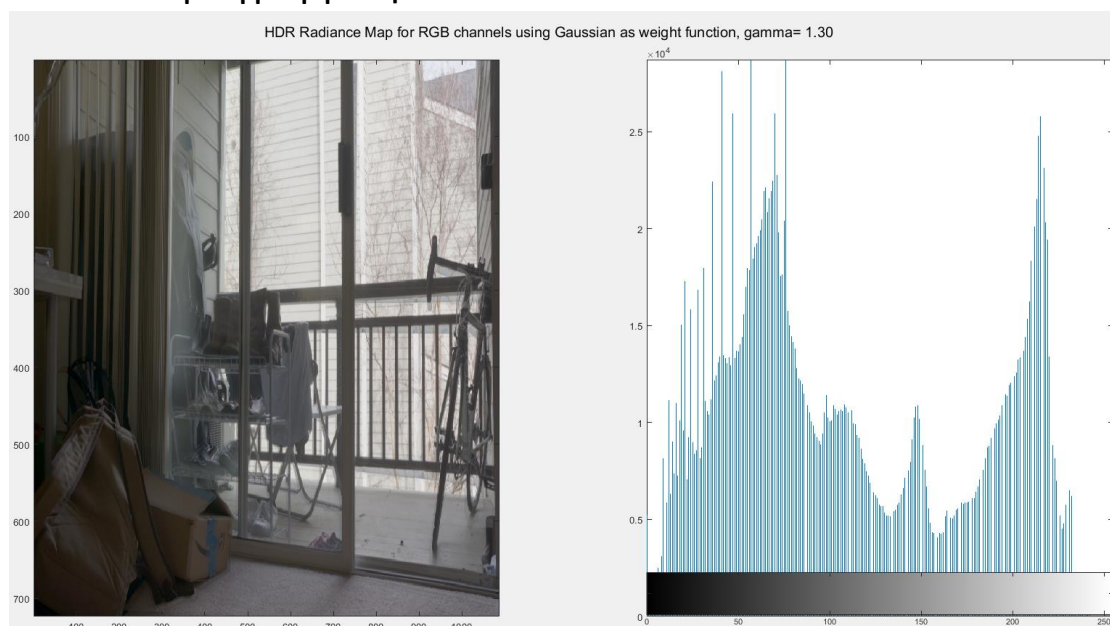


αποτελέσματα HDR εικόνων με αυτά του demo1. 1<sup>η</sup> εικόνα με εκτιμώμενη CRF:

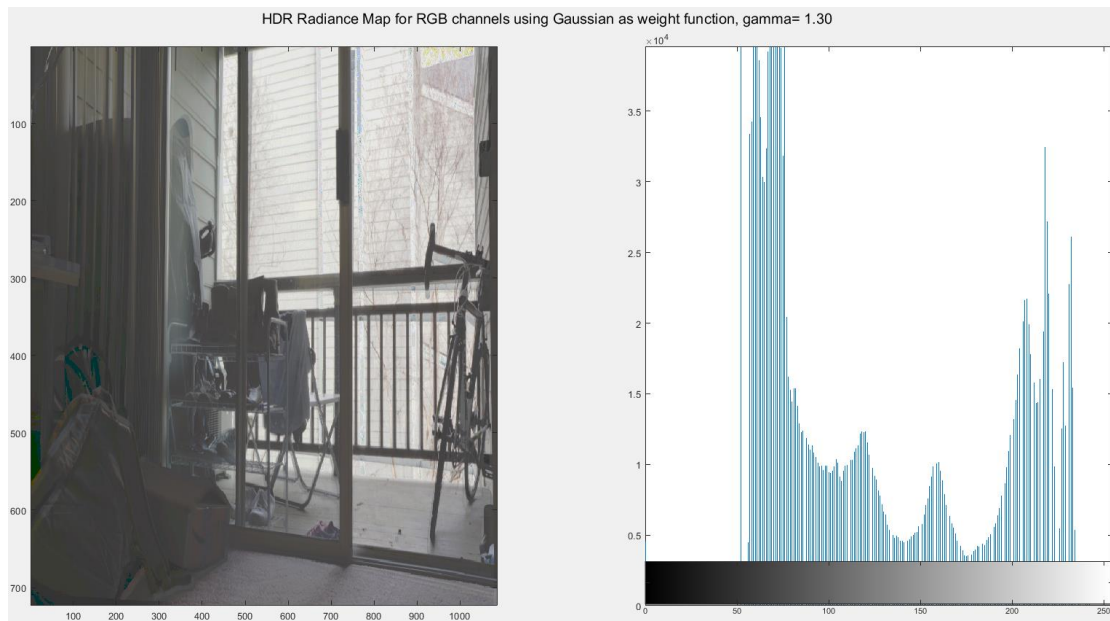


Τα αποτελέσματα για την 2<sup>η</sup> εικόνα ήταν όπως τα περιμένουμε, καθώς στην λίστα LDR εικόνων υπάρχει μία περιστραμμένη που μας οδηγεί σε λανθασμένες εκτιμήσεις των CRF και σε μη ρεαλιστικές απεικονίσεις HDR εικόνων. Αυτό είναι και ένα από τα ελαττώματα των HDR εικόνων ως προς την κίνηση που οδηγεί σε motion blur.

2<sup>η</sup> εικόνα με γραμμική CRF:



## 2<sup>η</sup> εικόνα με εκτιμώμενη CRF:



## Πηγές:

- [1] P. E. Debevec and J. Malik, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs," *ACM SIGGRAPH 2008 classes*, 2008.
- [2] Banterle, Francesco & Artusi, Alessandro & DeBattista, Kurt & Chalmers, Alan. (2017). Tone Mapping. 10.1201/9781315119526-3.