

# Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας -Εργασία 3-

## High Dynamic Range Imaging

Ομάδα Κατανόησης Πολυμέσων  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Άνοιξη 2022

### Εισαγωγικά

Ο όρος «δυναμικό εύρος» είναι μια αδιάστατη ποσότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικά φυσικά μέτρα. Για τις εικόνες, είναι η αναλογία μεταξύ του πιο ανοιχτού και του πιο σκούρου pixel. Για μια οθόνη, το δυναμικό εύρος είναι ο λόγος της μέγιστης και της ελάχιστης φωτεινότητας που μπορεί αυτή να εκπέμψει. Το δυναμικό εύρος μιας κάμερας είναι η αναλογία της φωτεινότητας κορεσμού του αισθητήρα (‘κάψιμο’) και της φωτεινότητας που ανυψώνει την απόκριση της κάμερας λίγο πάνω από το επίπεδο θορύβου.



Σχήμα 1: Αριστερά: Συνήθης φωτογραφία, με χρόνο έκθεσης για το καλύτερο δυνατό οπτικό αποτέλεσμα (Low Dynamic Range). Δεξιά: Επεξεργασμένη φωτογραφία με μεθόδους HDR imaging. [1]

Οι άνθρωποι, από τη φύση τους, μπορούν να αντιληφθούν μεγάλο δυναμικό ευρος σε μια σκηνή. Οι κάμερες, από την άλλη, έχουν χαμηλό δυναμικό εύρος (Low Dynamic Range - LDR) και για να αποτυπώσουμε τη λεπτομέρεια

που μπορούν να δουν τα μάτια μας σε μια φωτογραφία, πρέπει να τραβήξουμε εικόνες πολλαπλής έκθεσης και να τις συνδυάσουμε για να δημιουργήσουμε μια ενιαία φωτογραφία υψηλού δυναμικού εύρους (High Dynamic Range - HDR). Ένα παράδειγμα δίνεται στην εικόνα 1.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η εξερεύνηση της απεικόνισης υψηλού δυναμικού εύρους HDR από πολλαπλές λήψεις χαμηλού δυναμικού εύρους LDR και της απεικόνισης τόνου (tone mapping). Η απεικόνιση HDR στοχεύει στη δημιουργία εικόνων με ακρίβεια κινητής υποδιαστολής που αντιστοιχούν στις τιμές φωτεινότητας σκηνής με μεγάλο δυναμικό εύρος. Η απεικόνιση τόνου (tone mapping) είναι η διαδικασία επανασυμπίεσης του δυναμικού εύρους των εικόνων HDR σε μικρότερο εύρος, έτσι ώστε να μπορούν να εμφανίζονται σε μια οθόνη.

Για την πιο ακριβή εκτίμηση της απεικόνισης HDR από πολλαπλές LDR λήψεις μπορεί να γίνει ραδιομετρική βαθμονόμηση (calibration) των εικόνων εισόδου, εκτιμώντας τη γενικά μη-γραμμική καμπύλη απόκρισης της κάμερας με τη μέθοδο των Debevec et al. [2].

Επιπλέον βελτίωση της HDR απεικόνισης από πολλαπλές λήψεις επιτυγχάνεται με τη στοίχιση των πολλαπλών εικόνων εισόδου (image registration) ως βήμα προ-επεξεργασίας ώστε να απαλειφθούν τα αντίστοιχα artifacts στο τελικό αποτέλεσμα.

Στην τρίτη εργασία του μαθήματος θα υλοποιήσετε τα ακόλουθα:

1. Ενσωμάτωση πολλαπλών LDR εικόνων σε μία HDR απεικόνιση
2. Απεικόνισης τόνου
3. Ραδιομετρική βαθμονόμηση κατά Debevec
4. Image registration για τη βελτίωση της HDR απεικόνισης

Μαζί με την εκφώνηση θα βρείτε και τις εικόνες που θα χρησιμοποιήσετε σε κάθε ερώτημα. Κάθε φάκελος περιλαμβάνει πολλαπλές φωτογραφίες της ίδιας σκηνής οι οποίες έχουν ληφθεί με διαφορετικό χρόνο έκθεσης και συνοδεύονται από την ακριβή καταγραφή του χρόνου έκθεσης.

## 1 Multi-frame HDR imaging

Οι εμπορικές κάμερες αδυνατούν να καταγράψουν σκηνές με υψηλό δυναμικό εύρος από μία μόνο λήψη λόγω των εγγενών περιορισμών του αισθητήρα απεικόνισης, που πάσχει από κορεσμό σε περιοχές υψηλής ακτινοβολίας και από αβεβαιότητα σε περιοχές χαμηλού φωτισμού.

Στόχος αυτής της ενότητας είναι η υλοποίηση αλγόριθμου συνένωσης των πολλαπλών λήψεων μιας σκηνής με διαφορετικούς χρόνους έκθεσης για την απεικόνιση HDR, δηλαδή για τη δημιουργία εικόνων με ακρίβεια κινητής υποδιαστολής που αντιστοιχούν στις τιμές ακτινοβολίας σκηνής.

Η είσοδος στον αλγόριθμό είναι μια στοίβα LDR φωτογραφιών που έχουν ληφθεί με διαφορετικές (γνωστές) διάρκειες έκθεσης  $t^k$ ,  $k = \{1, \dots, K\}$ . Θα υποθέσουμε ότι η σκηνή είναι στατική και ότι αυτή η διαδικασία ολοκληρώνεται αρκετά γρήγορα ώστε οι αλλαγές φωτισμού να μπορούν να αγνοηθούν με ασφάλεια. Επομένως, μπορούμε να υποθέσουμε ότι ποσότητα ακτινοβολίας,  $E_{ij}$ , που φτάνει στον αισθητήρα ενός pixel  $\{i, j\}$  είναι σταθερή. Συμβολίζουμε τις τιμές των pixel με  $Z_{ij}^k$ , όπου  $\{i, j\}$  είναι ο χωρικός δείκτης του pixel και  $k$  είναι ο δείκτης του χρόνου έκθεσης  $t^k$ . Σε όσα περιγράφονται κάθε χρωματικό κανάλι αντιμετωπίζεται ξεχωριστά και δεν περιλαμβάνεται στο notation για λόγους απλότητας.

Η ακέραια τιμή της φωτεινότητας  $Z_{ij}^k$  για ένα pixel  $\{i, j\}$  της εικόνας με δείκτη χρόνου έκθεσης  $k$  συσχετίζεται με την άγνωστη και ζητούμενη ποσότητα ακτινοβολίας σκηνής  $E_{ij}$  σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$Z_{ij}^k = f(t^k E_{ij}) \quad (1)$$

όπου  $f$  είναι γενικά μια μη-γραμμική συνάρτηση που χαρακτηρίζει τον αισθητήρα λήψης της φωτογραφίας και την ονομάζουμε καμπύλη απόκρισης κάμερας (camera response curve). [2] Εάν γνωρίζαμε της αντίστροφη συνάρτηση  $f^{-1}(Z_{ij}^k) = t^k E_{ij}$ , τότε θα μπορούσαμε να μετατρέψουμε τις τιμές φωτεινότητας  $Z_{ij}^k$  στις ζητούμενες τιμές ακτινοβολίας ως πολλαπλάσιο σταθεράς, δεδομένου ότι γνωρίζουμε και τους χρόνους έκθεσης. Αντί για  $f^{-1}$ , θα θεωρήσουμε τη συνάρτηση  $g := \ln f^{-1}$  που αντιστοιχίζει τις τιμές των pixel  $Z_{ij}^k$  στις τιμές ακτινοβολίας ως εξής:

$$\ln(E_{ij}) = g(Z_{ij}^k) - \ln(t_k) \quad (2)$$

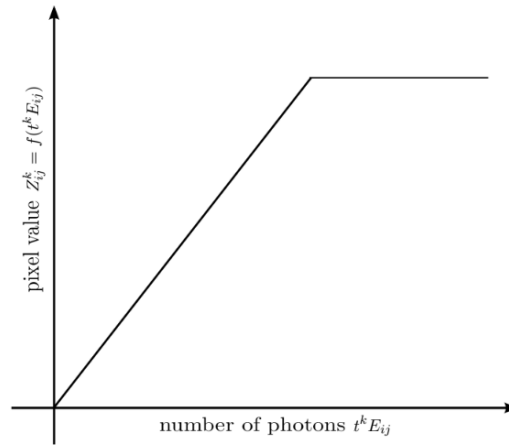
Για ευρωστία και για την ανάκτηση τιμών ακτινοβολίας υψηλού δυναμικού εύρους, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε όλους τους διαθέσιμους χρόνους έκθεσης για ένα συγκεκριμένο pixel ώστε να εκτιμηθεί η ακτινοβολία του με βάση την εξίσωση 2. Για αυτό, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια συνάρτηση στάθμισης,  $w(z)$ , ώστε να δώσουμε μεγαλύτερο βάρος σε εκθέσεις στις οποίες η τιμή του εικονοστοιχείου είναι πιο κοντά στο κέντρο του δυναμικού εύρους και όχι κοντά στον κορεσμό ή το θορυβώδη υποφωτισμό:

$$\ln(E_{ij}) = \frac{\sum_{k=1}^K w(Z_{ij}^k)(g(Z_{ij}^k) - \ln(t_k))}{\sum_{k=1}^K w(Z_{ij}^k)} \quad (3)$$

Υπάρχουν πολλές πιθανές επιλογές για τη συνάρτηση στάθμισης. Θα υλοποιήσετε τις ακόλουθες τέσσερις:

$$\begin{aligned} w_{uniform}(z) &= \begin{cases} 1, & \text{if } Z_{min} \leq z \leq Z_{max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \\ w_{tent}(z) &= \begin{cases} \min(z, 1 - z), & \text{if } Z_{min} \leq z \leq Z_{max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \\ w_{Gaussian}(z) &= \begin{cases} \exp(-4 \frac{(z-0.5)^2}{0.5^2}), & \text{if } Z_{min} \leq z \leq Z_{max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \\ w_{photon}(z) &= \begin{cases} t^k, & \text{if } Z_{min} \leq z \leq Z_{max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

Όλες οι παραπάνω συναρτήσεις στάθμισης υποθέτουν ότι οι τιμές της έντασης βρίσκονται στην περιοχή  $z \in [0, 1]$ . Φροντίστε να κανονικοποιήσετε τις LDR εικόνες σας σε αυτό το εύρος (π.χ. διαιρέστε με 255, κτλ). Μπορείτε να πειραματιστείτε με διαφορετικές τιμές αποκοπής  $Z_{min}$  και  $Z_{max}$ , αλλά προτείνουμε  $Z_{min} = 0,01$ ,  $Z_{max} = 0,99$ . Σε αντίθεση με τα άλλα σχήματα, τα βάρη  $w_{photon}$  εξαρτώνται επίσης από το χρόνο έκθεσης κάτω από την οποία καταγράφηκε ένα pixel. Εφαρμόστε όλα τα παραπάνω σχήματα στάθμισης και χρησιμοποιήστε τα για να δημιουργήσετε εικόνες HDR.



Σχήμα 2: Γραμμική καμπύλη απόκρισης κάμερας με κορεσμό [3]

Στην 1η ενότητα της εργασίας θα θεωρήσουμε γραμμική καμπύλη απόκρισης κάμερας με κορεσμό, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. [3] Συγκεκριμένα, θεωρήστε ότι στο γραμμικό κομμάτι είναι η ταυτοτική συνάρτηση  $f(x) = x$ .

Κατασκευάστε τη ρουτίνα `mergeLDRStack` η οποία δέχεται σαν είσοδο μια λίστα  $K$  μονοχρωματικών εικόνων που έχουν ληφθεί με διαφορετικούς χρόνους έκθεσης και διαστάσεις  $M \times N \times 1$  η κάθε μια, καθώς επίσης και τους αντίστοιχους χρόνους έκθεσης,  $t^k$ . Επιστρέφει το χάρτη ακτινοβολίας σκηνης, όπως αυτός εκτιμήθηκε από την HDR απεικόνιση μέσω της σταθμισμένης (weighted) συνένωσης των εικόνων. Πιο συγκεκριμένα:

```
1 function radianceMap = mergeLDRStack(imgStack, exposureTimes, weightingFcn)
```

όπου

`imgStack`: Η λίστα μονοχρωματικών εικόνων εισόδου διαφορετικούς χρόνους έκθεσης και διαστάσεις  $M \times N \times 1$  η κάθε μια.

`exposureTimes`: Η λίστα με τους χρόνους έκθεσης,  $t^k$ , που αντιστοιχούν στις εικόνες εισόδου.

`radianceMap`: Ο  $M \times N$  χάρτης ακτινοβολίας σκηνής με τιμές κινητής υποδιαστολής (double).

`weightingFcn`: Το όρισμα που δηλώνει ποια από τις 4 συναρτήσεις στάθμισης να χρησιμοποιηθεί.

HINT: Κατά τη συνένωση πολλών LDR εικόνων, μπορεί να υπάρχουν κάποια pixel τα οποία δεν έχουν εκτεθεί σωστά σε καμία διάρκεια έκθεσης, δηλαδή το άθροισμα των βαρών στον παρονομαστή της εξίσωσης 3 είναι ακριβώς 0. Μπορείτε να ορίσετε αυτά τα pixel να ισούται με τη μέγιστη ή την ελάχιστη έγκυρη τιμή pixel της HDR απεικόνισης, αντίστοιχα για προβληματικά pixel που είναι πάντα υπερβολικά εκτεθειμένα ή πάντα υποεκτεθειμένα.

## 1.1 Demo 1

Για το πρώτο demo καλείστε να παρουσιάσετε την λειτουργία της ρουτίνας `mergeLDRStack` με διαφορετικές συναρτήσεις στάθμισης. Για τους σκοπούς του demo θα χρησιμοποιήσετε τη στοίβα LDR εικόνων `Image1`, οι οποίες συνοδεύουν την εκφώνηση. Ο δείκτης στο όνομα των φωτογραφιών της LDR στοίβας είναι σε αυξουσα σειρά ως προς τους χρόνους έκθεσης, οι οποίοι είναι: [1/2500, 1/1000, 1/500, 1/250, 1/125, 1/60, 1/30, 1/15, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 15] seconds

Παρουσιάστε τις HDR απεικονίσεις για κάθε συνάρτηση στάθμισης με την εντολή `imagesc` για κάθε χρώμα ξεχωριστά, σε συνδυασμό με τα ιστογράμματα τους. Χρησιμοποιήστε χρωματικό κώδικα (`colormap`) της επιλογής σας και προσθέστε `colorbar`. (σύνολο 12 HDR απεικονίσεις: 1 σκηνή \* 4 συναρτήσεις στάθμισης \* 3 χρώματα).

Σχολιάστε πόσες απο τις LDR εικόνων για κάθε σκηνή θεωρείτε ότι αρκούν για να εκτιμηθεί ικανοποιητικά η HDR απεικόνιση. Σχολιάστε πόσα bit θεωρείτε ότι θα χρειαζόταν κάθε pixel για την αποθήκευση της HDR απεικόνισης.

## 2 Tone mapping

Αφού έχουμε εκτιμήσει την HDR απεικόνιση, απαιτείται η διαδικασία απεικόνισης τόνου για την απεικόνιση της ως φωτογραφία. Η απεικόνιση τόνου αντιστοιχίζει ένα σύνολο χρωμάτων σε ένα άλλο για να προσεγγίσει την εμφάνιση εικόνων HDR σε ένα μέσο που έχει πιο περιορισμένο δυναμικό εύρος, όπως η οθόνη ή ο εκτυπωτής. Υπάρχουν πολλές μεθοδοι απεικόνισης τόνου και, ενδεικτικά, χωρίς να απαιτείται για την εργασία, προτείνουμε να διαβάσετε τη μέθοδο των Reinhard et al. [4].

Στα πλαίσια της εργασίας θα εφαρμόσουμε τη μέθοδο καθολικής απεικόνισης τόνου **gamma correction**, που έχει τη μορφή  $V_{out} = V_{in}^\gamma$ , όπου  $V_{in} \in [0, 1]$  και  $V_{out} \in [0, 1]$ . Να υλοποιήσετε την συνάρτηση απεικόνισης τόνου που εφαρμόζει gamma correction σε μία HDR απεικόνιση ανά χρώμα.

```
1 function tonedImage = toneMapping(radianceMap, gamma)
```

όπου

`tonedImage`: Εικόνα εξόδου με 256 στάθμες κβαντισμού (uint8)

`radianceMap`: Ο  $M \times N$  χάρτης ακτινοβολίας σκηνής με τιμές κινητής υποδιαστολής (double).

`gamma`: Συντελεστής  $\gamma$ .

## 2.1 Demo 2

Από τους HDR χάρτες που εκτιμήσατε στην προηγούμενη ενότητα για την `Image1`, επιλέξτε ένα σημειακό μετασχηματισμό για tone mapping ώστε το αποτέλεσμα να σας φαίνεται ελκυστικό. Μπορείτε να δοκιμάσετε με  $\gamma = 0.8$  ή  $\gamma = 1.4$  για αρχή και στη συνέχεια να πειραματιστείτε. Δε χρειάζεται να σας απασχολήσει η σωστή απεικόνιση του χρώματος. Παρουσιάστε την εικόνα με το  $\gamma$  της επιλογής σας και σχολιάστε τα αποτελέσματα.

Για να επιβεβαιώσετε την ορθότητα της απεικόνισης, μπορείτε ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΑ να δοκιμάσετε το παρακάτω. Στη σκηνή της εικόνας `Image1` βρίσκεται επάνω σε ένα ράφι μια χρωματική παλέτα, της οποίας η δεξιά στήλη περιέχει κουτιά με διαφορετικές αποχρώσεις του γκρι, ξεκινώντας από το λευκό (κάτω) στο μαύρο (επάνω). Η γκρι παλέτα έχει φτιαχτεί με τέτοιο τρόπο ώστε το κάθε κουτί να έχει διπλάσια ανακλαστικότητα (i.e. η ικανότητα του υλικού

να ανακλάει φως) από το επάνω του. Επομένως, περιμένουμε σε μια πιστή μονοχρωματική απεικόνιση της σκηνής, η φωτεινότητα στα pixel του κάθε κουτιού αυξάνεται γραμμικά. Εντοπίστε αυτά τα 6 pixel και πλοτάρετε τα μαζί με την ευθεία που συνδέει τη μεγαλύτερη με τη μικρότερη τιμή. Η φωτεινότητα των pixel από μια rgb εικόνα δίνεται με τη συνάρτηση `rgb2gray`. Επαναλάβετε το βήμα για την HDR απεικόνιση χωρίς gamma correction (απλό scaling στο διάστημα [0,1]) και με gamma correction. Παρουσιάστε τα δύο γραφήματα και αναφέρετε για ποιά τιμή  $\gamma$  πλησιάζουν τα έξι σημεία πιο κοντά στην ευθεία.

### 3 Radiometric calibration - Εκτίμηση καμπύλης απόκρισης κάμερας

Η καμπύλη απόκρισης της κάμερας,  $f$ , είναι γενικά μη γραμμική και αποτελεί χαρακτηριστικό του αισθητήρα. Προκειμένου να συγχωνευτούν πολλαπλές LDR λήψεις με γνωστούς χρόνους έκθεσης είναι απαραίτητη η ραδιομετρική βαθμονόμηση για να αναιρέθει η μη γραμμικότητα του αισθητήρα κάμερα. Στην ενότητα αυτή θα γίνει εκτίμηση της χαρακτηριστικής καμπύλης απόκρισης κάμερας, σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται από τους Debevec et al. [2]. Περιγράφουμε πώς λειτουργεί η μέθοδος παρακάτω, αλλά σας ενθαρρύνουμε να διαβάσετε τουλάχιστον την Ενότητα 2.1 αυτής της εργασίας, όπου εξηγείται η μέθοδος.

Δεδομένου ότι το πεδίο ορισμού της ζητούμενης  $g := \ln f^{-1}$  είναι οι διακριτές τιμές έντασης  $\{0, \dots, 255\}$ , η συνάρτηση  $g$  μπορεί να περιγραφεί από 256 παραμέτρους, δηλαδή ουσιαστικά να αποτελεί ένα διάνυσμα 256 θέσεων.

Η επίλυση της εξίσωσης 2 για αυτές τις 256 τιμές μπορεί να φαίνεται αδύνατη, επειδή δεν γνωρίζουμε ούτε το  $g$  ούτε το  $E_{ij}$ . Ωστόσο, εάν η εικονιζόμενη σκηνή παραμένει στατική κατά τη λήψη της στοίβας έκθεσης, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το γεγονός ότι η τιμή  $E_{ij}$  είναι σταθερή σε όλες τις εικόνες LDR. Στη συνέχεια, μπορούμε να ανακτήσουμε το  $g$  λύνοντας το παρακάτω πρόβλημα βελτιστοποίησης ελαχίστων τετραγώνων:

$$\min_{g, E_{ij}} \sum_{i,j} \sum_k \{w(Z_{ij}^k)[g(Z_{ij}^k) - \ln(E_{ij}) - \ln(t^k)]\}^2 + \lambda \sum_{z=0}^{255} \{w(z)\nabla^2 g(z)\} \quad (4)$$

Όπως συζητήθηκε στην ενότητα 1, τα βάρη  $w(z)$  έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι οι εκτιμήσεις θα πρέπει να βασίζονται περισσότερο σε εικονοστοιχεία με καλή έκθεση παρά σε εικονοστοιχεία με χαμηλή έκθεση ή υπερβολική έκθεση. Επιπλέον, όταν χρησιμοποιείτε αυτά τα βάρη για γραμμικοποίηση, προσαρμόστε τα ώστε να λειτουργούν στην περιοχή  $[0, 255]$  και ορίστε  $Z_{min} = 0$  και  $Z_{max} = 255$ .

Ο δεύτερος όρος στην εξίσωση 4 έχει να κάνει με το γεγονός ότι περιμένουμε το  $g$  να είναι ομαλό, και επομένως "τιμωρούμε" τις λύσεις  $g$  που έχουν μεγάλα μεγέθη δεύτερης παραγώγου. Δεδομένου ότι το  $g$  είναι διακριτό, η δεύτερη παράγωγος μπορεί να προσεγγιστεί ως  $\nabla^2 g(z) = g(z+1) - 2g(z) + g(z-1)$ . Σημειώστε ότι, όταν χρησιμοποιείτε τα βάρη για βέλτιστα φωτόνια  $w$  φωτόνιο που απαιτούν γνώση του χρόνου έκθεσης, μπορείτε να ορίσετε τα βάρη του όρου κανονικοποίησης μόνο σε μια σταθερά (π.χ.  $w(z) = 1$ ).

Λύστε το πρόβλημα βελτιστοποίησης ελαχίστων τετραγώνων της εξίσωσης εκφράζοντας τις γραμμικές εξισώσεις από τα διαφορετικά pixel και τους διαφορετικούς χρόνους έκθεσης σε μορφή πίνακα  $Ax = b$ . Δείτε το manual του MATLAB για τον τελεστή `mldivide`, `\`.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στο appendix A της εργασίας των Debevec et al. [2] δίνεται ο κώδικας σε MATLAB. Εάν επιλέξετε να χρησιμοποιήσετε αυτήν την υλοποίηση εξηγήστε στην αναφορά τα βήματα που ακολουθούνται.

Ο σημειακός μετασχηματισμός  $g$  που θα εκτιμηθεί μπορεί στη συνέχεια χρησιμοποιηθεί για να μετατρέψετε τις τιμές φωτεινότητας των LDR εικόνων  $Z_{ij}^k$  σε καλιμπραρισμένες ως προς την καμπύλη απόκρισης της κάμερας:

$$Z_{ij,calibrated}^k = \exp(g(Z_{ij}^k)) \quad (5)$$

Για κάθε χρωματικό κανάλι η ρουτίνα θα εφαρμοστεί ξεχωριστά, εκτιμώντας μια χαρακτηριστική καμπύλη κάμερας για κάθε χρώμα.

1

```
function responseCurve = estimateResponseCurve(imgStack, exposureTimes,
    smoothingLamda, weightingFcn)
```

όπου

**responseCurve**: Η χαρακτηριστική καμπύλη κάμερας που εκτιμήθηκε με τη μορφή ενός lookup table. Διάνυσμα διάστασης  $256 \times 1$ .

**imgStack**: Η λίστα εικόνων εισόδου από διαφορετικούς χρόνους έκθεσης και διαστάσεις  $M \times N \times 1$  η κάθε μια.

**exposureTimes**: Η λίστα με τους χρόνους έκθεσης,  $t^k$ , που αντιστοιχούν στις εικόνες εισόδου.

smoothingLamda: Συντελεστής εκτίμησης.

weightingFcn: Το όρισμα που δηλώνει ποια από τις 4 συναρτήσεις στάθμισης να χρησιμοποιηθεί.

### 3.1 Demo 3

Σχεδιάστε την καμπύλη απόκρισης κάμερας για τα τρία χρώματα ξεχωριστά για τις σκηνές Image1 και Image2. Οι άξονες της καμπύλης να είναι ίδιοι με αυτούς του σχήματος ??.

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις mergeLDRStack και toneMapping, παρουσιάστε το αποτέλεσμα της συνένωσης των LDR εικόνων για την εικόνα Image1 και Image2. Πειραματιστείτε με τις παραμέτρους για να παράξετε το οπτικό αποτέλεσμα που σας φαίνεται ικανοποιητικό. Προσοχή, για την εκτίμηση της χαρακτηριστικής καμπύλης της κάμερας θα επιλέξετε μια συνάρτηση στάθμισης και την ίδια συνάρτηση στάθμισης θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε στη συνένωση των LDR εικόνων.

Ο δείκτης στο όνομα των φωτογραφιών της LDR στοίβας της εικόνας Image2 είναι σε αυξουσα σειρά ως προς τους χρόνους έκθεσης, οι οποίοι είναι: [1/400, 1/250, 1/100, 1/40, 1/25, 1/8, 1/3] seconds

## 4 Βελτίωση HDR απεικόνισης με image alignment (Προαιρετικά)

Σε αυτήν την ενότητα καλείστε να χρησιμοποιήσετε τις συναρτήσεις που έχετε φτιάξει στην Εργασία #1 για τη στοίχιση των LDR εικόνων (image registration) ως πρώτο βήμα πριν δημιουργήσετε την HDR απεικόνιση για τη σκηνή Image2. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν όλες οι λήψεις που βρίσκονται στο φάκελο. [1/400, 1/250, 1/100, 1/40, 1/25, 1/8, 1/3] seconds

### 4.1 Demo 4

Συγκρίνετε το αποτέλεσμα της συνένωσης των LDR εικόνων της Image2 με και χωρίς τη στοίχιση ως προεπεξεργασία. Απεικονίστε το αποτέλεσμα και στις δύο περιπτώσεις με την απεικόνιση τόνου που θεωρείτε καλύτερη και σχολιάστε.

Σημειώνεται ότι η ορθότητα της υλοποίησης των ρουτίνων για τη στοίχιση των εικόνων έχει εξεταστεί στην 1η εργασία, ενώ στην παρούσα ζητείται απλώς η εφαρμογή τους. Εναλλακτικά μπορείτε να αναζητήσετε έτοιμες λύσεις της MATLAB/Octave για τη στοίχιση των εικόνων (image registration).

## Αξιολόγηση & παραδοτέα

Κατά την υποβολή της εργασίας θα πρέπει να παραδώσετε τα αρχεία με τις συναρτήσεις:

- mergeLDRStack.m
- estimateResponseCurve.m
- toneMapping.m

καθώς και μία αναφορά. Επιπλέον, ανά ενότητα θα πρέπει να παραδώσετε και ένα script με όνομα demo1.m, demo2.m, demo3.m και demo4.m, το οποίο θα εκτελείται χωρίς ορίσματα και θα παρουσιάζει τα ζητούμενα των ενότητων 1.1, 2.1, 3.1 και 4.1. Στην αναφορά θα πρέπει επίσης να παρουσιάσετε όποιες σχεδιαστικές επιλογές έχετε κάνει.

Η αξιολόγηση της εργασίας θα δώσει 1 μονάδα στον τελικό βαθμό εάν ολοκληρωθούν σωστά οι ενότητες 1-3 και επιπλέον 0.5 μονάδα για την ενότητα 4. Η μισή μονάδα της ενότητας 4 είναι επιπλέον από τις 10 συνολικές μονάδες τους μαθήματος.

## Σχετικά με την υποβολή της εργασίας

Παραδώστε μία αναφορά με τις περιγραφές και τα συμπεράσματα που σας ζητούνται στην εκφώνηση. Η αναφορά θα πρέπει να επιδεικνύει την ορθή λειτουργία του κώδικά σας στις εικόνες που σας δίνονται.

Ο κώδικας θα πρέπει να είναι σχολιασμένος ώστε να είναι κατανοητό τι ακριβώς λειτουργία επιτελεί (σε θεωρητικό επίπεδο, όχι σε επίπεδο κλήσης συναρτήσεων). Επίσης, ο κώδικας θα πρέπει να εκτελείται και να υπολογίζει τα σωστά

αποτελέσματα για οποιαδήποτε είσοδο πληροί τις υποθέσεις της εκφώνησης, και όχι μόνο για τις εικόνες που σας δίνονται.

Απαραίτητες προϋποθέσεις για την βαθμολόγηση της εργασίας σας είναι ο κώδικας να εκτελείται χωρίς σφάλμα, καθώς και να τηρούνται τα ακόλουθα:

- Υποβάλετε ένα και μόνο αρχείο, τύπου zip.
- Το όνομα του αρχείου πρέπει να είναι `AEM.zip`, όπου AEM είναι τα τέσσερα ψηφία του Α.Ε.Μ. του φοιτητή της ομάδας.
- Το προς υποβολή αρχείο πρέπει να περιέχει τα αρχεία κώδικα Matlab και το αρχείο `report.pdf` το οποίο θα είναι η αναφορά της εργασίας.
- Η αναφορά πρέπει να είναι ένα αρχείο τύπου PDF, και να έχει όνομα `report.pdf`.
- Όλα τα αρχεία κώδικα πρέπει να είναι αρχεία κειμένου τύπου UTF-8, και να έχουν κατάληξη `m`.
- Το αρχείο τύπου zip που θα υποβάλετε δεν πρέπει να περιέχει κανέναν φάκελο.
- Μην υποβάλετε τις εικόνες που σας δίνονται για πειραματισμό.
- Μην υποβάλετε αρχεία που δεν χρειάζονται για την λειτουργία του κώδικά σας, ή φακέλους/αρχεία που δημιουργεί το λειτουργικό σας, πχ “Thumbs.db”, “.DS\_Store”, “.directory”.
- Για την ονομασία των αρχείων που περιέχονται στο προς υποβολή αρχείο, χρησιμοποιείτε μόνο αγγλικούς χαρακτήρες, και όχι ελληνικούς ή άλλα σύμβολα, πχ “#”, “\$”, “%” κλπ.

## Αναφορές

- [1] E. Reinhard, W. Heidrich, P. Debevec, S. Pattanaik, G. Ward, and K. Myszkowski, *High dynamic range imaging: acquisition, display, and image-based lighting*. Morgan Kaufmann, 2010.
- [2] P. E. Debevec and J. Malik, “Recovering high dynamic range radiance maps from photographs,” *ACM SIGGRAPH 2008 classes*, 2008.
- [3] C. Aguerrebere, J. Delon, Y. Gousseau, and P. Musé, “Best algorithms for hdr image generation. a study of performance bounds,” *SIAM Journal on Imaging Sciences*, vol. 7, no. 1, pp. 1–34, 2014.
- [4] E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley, and J. Ferwerda, “Photographic tone reproduction for digital images,” *Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 2002.