

Συστήματα Πολυμέσων

Εργασία 2019

Παναγιώτης Ιωαννίδης Π16036

Αθανάσιος Παραβάντης Π16112

Περιεχόμενα

[2. Εισαγωγή 4](#_Toc10315529)

[3. Άσκηση 6.16 6](#_Toc10315530)

[3.1. Εκφώνηση 6](#_Toc10315531)

[3.2. Εκτέλεση 6](#_Toc10315532)

[3.3. Επεξήγηση 6](#_Toc10315533)

[4. Άσκηση 6.17 7](#_Toc10315534)

[4.1. Εκφώνηση 7](#_Toc10315535)

[4.2. Εκτέλεση 7](#_Toc10315536)

[4.3. Επεξήγηση 7](#_Toc10315537)

[5. Άσκηση 8.17 8](#_Toc10315538)

[5.1. Εκφώνηση 8](#_Toc10315539)

[5.2. Εκτέλεση 10](#_Toc10315540)

[5.3. Επεξήγηση 12](#_Toc10315541)

[6. Άσκηση 8.18 13](#_Toc10315542)

[6.1. Εκφώνηση 13](#_Toc10315543)

[6.2. Εκτέλεση 15](#_Toc10315544)

[6.3. Επεξήγηση 16](#_Toc10315545)

[7. Βοηθητικές συναρτήσεις 17](#_Toc10315546)

[7.1. frame\_to\_macroblocks(frame) 17](#_Toc10315547)

[7.2. macroblocks\_to\_frame(macroblocks) 17](#_Toc10315548)

[7.3. fit\_size(x) 17](#_Toc10315549)

[7.4. get\_sad(m\_prev, m\_next): 18](#_Toc10315550)

[7.5. get\_best\_match(ms\_prev, next\_row, next\_col, m\_next) 18](#_Toc10315551)

[8. Αναφορές 19](#_Toc10315552)

# Εισαγωγή

Στην εργασία του μαθήματος κάναμε την επιλογή να δουλέψουμε με τη γλώσσα προγραμματισμού Python 3.7 χρησιμοποιώντας μια σειρά από βιβλιοθήκες και δικές μας υλοποιήσεις συναρτήσεων. Για την εύρεση των εικόνων και βίντεο αναζητήσαμε στο διαδίκτυο κατάλληλο υλικό ώστε να βασίσουμε πάνω σε αυτό όλη την επεξεργασία που απαιτείται στις ασκήσεις. Επειδή η Python είναι μια δυνατή γλώσσα με πολλά εργαλεία και επαρκή τεκμηρίωση, θεωρήσαμε απαραίτητο να δομήσουμε την εργασία ως εξής:

* Ο φάκελος codebase περιλαμβάνει όλο τον πηγαίο κώδικα μαζί με εικόνες και βίντεο που χρησιμοποιούνται στην επίλυση των ασκήσεων.
* Ο φάκελος screenshots περιλαμβάνει φωτογραφίες από στιγμιότυπα εκτέλεσης των προγραμμάτων καθώς και εικόνες GIF που προβάλλουν όλη τη χρονική διάρκεια εκτέλεσης.
* Το αρχείο documentation.pdf είναι το παρόν αρχείο και παρέχει όλη την απαραίτητη τεκμηρίωση της εργασίας.

Όσο για τη δομή του πηγαίου κώδικα είναι αναγκαίο να αναφέρουμε ότι αναπαριστούμε το project σε μορφή Python package ώστε να μπορούμε με απλό τρόπο να εισάγουμε κώδικα και συναρτήσεις από άλλα αρχεία, δηλαδή:

* Το αρχείο setup.py καθορίζει μερικά απαραίτητα στοιχεία του package και δεν έχει ιδιαίτερη σημασία στην εργασία.
* Το αρχείο MANIFEST.in καθορίζει τα στατικά αρχεία του package δηλαδή τις εικόνες και τα βίντεο που πρέπει να συμπεριληφθούν.
* Ο φάκελος codebase περιλαμβάνει το αρχείο \_\_init\_\_.py που υποδηλώνει την ύπαρξη package με το όνομα φακέλου codebase.

Αυτό σημαίνει ότι σε οποιοδήποτε αρχείο του project μπορούμε να κάνουμε import οποιαδήποτε συνάρτηση με δήλωση της μορφής from codebase.<module> import <function>.

Οι λύσεις για κάθε άσκηση κατηγοριοποιούνται μέσα στον φάκελο codebase με τη μορφή exercise-6.16, exercise-6.17, exercise-8.17 και exercise-8.18. Τα αρχεία μέσα σε αυτούς τους φακέλους μπορούν να εκτελεστούν αυτόνομα με τη Python. Για να γίνει αυτό με ευκολία παραθέτουμε την εξής διαδικασία:

* Δημιουργούμε ένα νέο εικονικό περιβάλλον με τη Python 3.7:  
  pip3 install virtualenv  
  virtualenv -p <python executable> <env name>  
  source ./<env name>/bin/activate
* Κάνουμε CD στον φάκελο της εργασίας ανάλογα με τη τοποθεσία που αποσυμπιέσαμε το .zip αρχείο:  
  cd multimedia\_systems (παράδειγμα)  
  Ο φάκελος αυτός πρέπει να περιέχει τους φακέλους και τα αρχεία της εργασίας codebase, screenshots κτλ.
* Εγκαθιστούμε τοπικά το codebase package:  
  pip install -e .
* Κάνουμε CD στον φάκελο codebase:  
  cd codebase
* Εκτελούμε ένα από τα αρχεία:  
  python exercise-6.16/rle\_encoder.py

python exercise-6.16/rle\_decoder.py

python exercise-6.17/dpcm\_encoder.py

python exercise-6.17/dpcm\_decoder.py

python exercise-8.17/error\_frames.py

python exercise-8.17/motion\_prediction.py

python exercise-8.18/object\_removal.py

# Άσκηση 6.16

## Εκφώνηση

## Εκτέλεση

## Επεξήγηση

# Άσκηση 6.17

## Εκφώνηση

## Εκτέλεση

## Επεξήγηση

# Άσκηση 8.17

## Εκφώνηση

Στην άσκηση αυτή θα υλοποιήσετε την τεχνική της αντιστάθμισης κίνησης και θα μελετήσετε πώς επηρεάζει τα σφάλματα πρόβλεψης. Δείγματα αρχείων βίντεο, μαζί με τη σχετική πληροφορία διαμόρφωσης, παρέχονται στην ενότητα αρχείων προς λήψη του ιστοτόπου [www.cengage.com](http://www.cengage.com). Εκεί θα βρείτε και τον κώδικα για να διαβάζει και να προβάλλει πλαίσια βίντεο. Υποθέστε ότι το πρώτο πλαίσιο θα είναι πάντα ένα πλαίσιο I και ότι τα υπόλοιπα πλαίσια θα είναι τύπου P. Η υπόθεση αυτή ευσταθεί στην περίπτωση των σύντομων ακολουθιών βίντεο που επεξεργάζεστε, που έχουν μήκος το πολύ 100 πλαισίων.

* Στο πρώτο μέρος της άσκησης αυτής, υποθέστε ότι θέλετε να προβλέπετε ολόκληρα P πλαίσια και όχι κατά τμήματα. Η πρόβλεψη κάθε ολόκληρου πλαισίου γίνεται με βάση το προηγούμενο πλαίσιο. Υλοποιήστε μία διαδικασία που να δέχεται είσοδο δύο πλαίσια, υπολογίζει τη διαφορά τους και επιστρέφει ένα πλαίσιο σφαλμάτων. Δεν υπολογίζετε διάνυσμα κίνησης. Να προβάλετε τα πλαίσια σφαλμάτων. Σημειώστε ότι το πληροφοριακό περιεχόμενο του πλαισίου σφαλμάτων θα πρέπει να είναι μικρότερο, συγκρινόμενο με αυτό των πλαισίων.
* Στο δεύτερο βήμα θα υλοποιήσετε τεχνική πρόβλεψης κίνησης, η οποία θα υπολογίζει διανύσματα κίνησης ανά μπλοκ. Κάθε μπλοκ θα έχει το τυπικό MPEG μέγεθος 16 × 16. Υλοποιήστε μια συνάρτηση που θα δέχεται είσοδο δύο πλαίσια: ένα πλαίσιο αναφοράς, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί κατά την αναζήτηση των διανυσμάτων κίνησης, και ένα πλαίσιο στόχος, το οποίο θα προβλεφθεί. Διαιρέστε το πλαίσιο-στόχο σε μακρομπλόκ μεγέθους 16 × 16. Εάν το πλάτος και ύψος του πλαισίου δεν είναι πολλαπλάσιο του 16, συμπληρώστε κατάλληλα το πλαίσιο με μαύρα εικονοστοιχεία. Για κάθε μπλοκ στο πλαίσιο-στόχο, ανατρέξτε στην αντίστοιχη θέση στο πλαίσιο αναφοράς και βρείτε την περιοχή που δίνει το καλύτερο ταίριασμα, όπως έχει εξηγηθεί στο κείμενο του κεφαλαίου. Χρησιμοποιήστε τη μετρική SAD σε περιοχή αναζήτησης που προκύπτει για k = 16, έτσι ώστε τα διανύσματα κίνησης να έχουν μέγεθος το πολύ 16 εικονοστοιχείων ως προς κάθε κατεύθυνση. Με βάση το μπλοκ πρόβλεψης, υπολογίστε το μπλοκ σφαλμάτων ως τη διαφορά μεταξύ του αρχικού μπλοκ και του προβλεφθέντος. Αφού αυτή η διαδικασία ολοκληρωθεί για όλα τα μπλοκ, θα προκύψει ένα πλαίσιο σφαλμάτων. Να γίνει η πρόβλεψη όλων των πλαισίων σφαλμάτων. Θα διαπιστώσετε ότι τα πλαίσια σφαλμάτων εμφανίζουν σημαντικά μικρότερη εντροπία σε σύγκριση με τη προηγούμενη περίπτωση, μολονότι απαιτείται περισσότερος χρόνος για τον υπολογισμό τους.

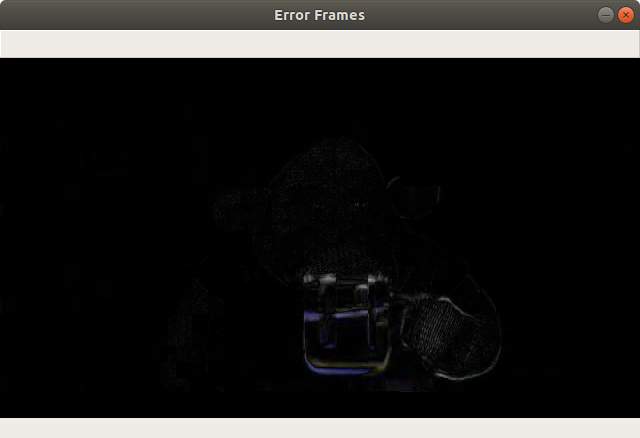
## Εκτέλεση

Η επίλυση της άσκησης βρίσκεται στον φάκελο codebase/exercise-8.17 και συγκεκριμένα στα αρχεία error\_frames.py και motion\_prediction.py.

Το πρώτο αρχείο error\_frames.py υλοποιεί τα πλαίσια σφαλμάτων μεταξύ των πλαισίων του βίντεο. Για να εκτελέσουμε τον κώδικα:

* python exercise-8.17/error\_frames.py

Παρατηρούμε ότι εμφανίζεται ένα παράθυρο που δείχνει για όλα τα πλαίσια B τη διαφορά τους με το προηγούμενο:

Μόλις προβληθούν όλα τα πλαίσια σφαλμάτων το πρόγραμμα τερματίζει.

Το δεύτερο αρχείο motion\_prediction.py υλοποιεί μια τεχνική πρόβλεψης κίνησης με τη βοήθεια της μετρικής SAD και λογαριθμικής αναζήτησης. Για να εκτελέσουμε τον κώδικα:

* python exercise-8.17/motion\_prediction.py

Αμέσως εμφανίζονται δυο παράθυρα, το πρώτο δείχνει τα δυο συγκρινόμενα πλαίσια και το δεύτερο τα μακρομπλόκ που συγκρίνονται και τη διαφορά τους:

Μόλις ο αλγόριθμος συγκρίνει όλα τα μακρομπλόκ του δεύτερου πλαισίου με το καλύτερο μακρομπλόκ του πρώτου, το πρόγραμμα τερματίζει.

## Επεξήγηση

Για την επίλυση της άσκησης χρησιμοποιούμε ένα διαφημιστικό βίντεο 5 δευτερολέπτων πάνω στο οποίο βασίζουμε όλη την επεξεργασία που γίνεται. Το αρχείο του βίντεο βρίσκεται στη τοποθεσία codebase/videos/video1.mp4. Στο πρώτο ερώτημα όσον αφορά τα πλαίσια σφαλμάτων, φορτώνουμε με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης opencv-python όλα τα πλαίσια του βίντεο, αποθηκεύοντας πάντα το προηγούμενο (εκτός του πρώτου που είναι τύπου I). Η χρήσιμη συνάρτηση cv2.absdiff μας δίνει τη δυνατότητα να βρούμε τη διαφορά των δυο πλαισίων άμεσα και έπειτα γίνεται η προβολή τους.

Στο δεύτερο ερώτημα, παίρνουμε τα πρώτα δυο πλαίσια του βίντεο και τα χωρίζουμε σε μακρομπλόκ 16 × 16. Για να διαμορφωθούν όλα τα επιθυμητά μακρομπλόκ είναι αναγκαίο να μεταβάλλουμε το πλάτος και ύψος του βίντεο με τέτοιο τρόπο ώστε να διαιρούνται με το 16. Μόλις τελειώσει αυτή η διαδικασία, εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο λογαριθμικής αναζήτησης με k = 16 για κάθε μακρομπλόκ του πλαισίου-στόχου ώστε να βρούμε το κατάλληλο πλαίσιο-αναφοράς χρησιμοποιώντας τη μετρική SAD. Τέλος, προβάλλουμε τα δυο πλαίσια σε ένα παράθυρο και όλα τα πλαίσια στόχων, αναφοράς και σφαλμάτων που προέκυψαν.

# Άσκηση 8.18

## Εκφώνηση

Σε αυτήν την άσκηση θα δείτε ότι η τεχνική της τμηματικής πρόβλεψης με βάση την αντιστάθμιση κίνησης, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές εκτός συμπίεσης. Μία τέτοια ενδιαφέρουσα εφαρμογή είναι η απομάκρυνση αντικειμένων ή προσώπων από τη ροή του βίντεο. Για παράδειγμα, έστω ένα βίντεο στο οποίο η κάμερα δεν έχει κινηθεί και το παρασκήνιο είναι σχετικά στατικό, αλλά κινούνται ορισμένα αντικείμενα στο προσκήνιο. Στόχος σας είναι να προσεγγίσετε το αντικείμενο χρησιμοποιώντας μπλοκ και στη συνέχεια να αντικαταστήσετε αυτά τα μπλοκ με παρασκήνιο, σαν να μην ήταν ποτέ παρόν το αντικείμενο. Στη γενική περίπτωση, η λύση είναι πολύ δύσκολη, αλλά στο πλαίσιο αυτής της άσκησης θα επεξεργαστείτε ορισμένες απλούστερες ιδέες. Κατά την υλοποίηση, βεβαιωθείτε ότι μπορείτε να χειρίζεστε το μέγεθος του μπλοκ ως παράμετρο, προκειμένου να ελέγξετε πόσο καλά λειτουργεί ο αλγόριθμος απομάκρυνσης αντικειμένων για διάφορα μεγέθη μακρομπλόκ.

* Κατ’ αρχήν, φορτώστε ένα σύνολο πλαισίων βίντεο. Υποθέστε ότι το πρώτο πλαίσιο είναι αποκλειστικά πλαίσιο παρασκηνίου και δεν περιέχει αντικείμενα σε κίνηση. Δοθέντος ενός πλαισίου, n, προχωρήστε στη διαίρεσή του σε μπλοκ. Υπολογίστε ένα διάνυσμα κίνησης ανά μπλοκ με βάση το προηγούμενο πλαίσιο (αναφοράς). Για τα μπλοκ παρασκηνίου, θα πρέπει να προκύψουν μη μηδενικά διανύσματα κίνησης. Παρακολουθήστε όλα αυτά τα διανύσματα κίνησης. Μπορείτε ακόμη και να τα απεικονίσετε για κάθε μπλοκ, καθώς προβάλετε το βίντεο.
* Στη συνέχεια, βρείτε τα μπλοκ που αντιστοιχούν σε μη μηδενικά διανύσματα κίνησης. Αντικαταστήστε κάθε τέτοιο μπλοκ με το αντίστοιχο μπλοκ παρασκηνίου. Τα εικονοστοιχεία παρασκηνίου θα πρέπει να προέρχονται από προηγούμενο πλαίσιο, στο οποίο δεν υπήρχε αντικείμενο σε κίνηση. Η αντικατάσταση όλων αυτών των μπλόκ θα οδηγήσει στην απομάκρυνση των αντικειμένων, διότι τα αντικείμενα αντικαθίστανται από το παρασκήνιο. Επαναλάβετε τη διαδικασία, χρησιμοποιώντας μακρομπλόκ διαφορετικού μεγέθους.
* Είναι πιθανό να αντιμετωπίσετε ασυνέχειες και παρενέργειες στα όρια των μπλοκ που αντικαθίστανται. Πως θα ελαχιστοποιήσετε αυτά τα φαινόμενα;

Η προτεινόμενη λύση θα λειτουργήσει ικανοποιητικά, μόνο όταν υποθέστε ότι η κάμερα δεν κινείται, όταν τα αντικείμενα που κινούνται υπόκεινται σε λεία κίνηση και ότι δεν παρατηρούνται αλλαγές κατεύθυνσης. Όμως στη γενική περίπτωση, η κάμερα κινείται, τα αντικείμενα κινούνται με όχι αυστηρό τρόπο και επιπλέον, παρατηρούνται αλλαγές στον φωτισμό, καθώς η κάμερα κινείται.

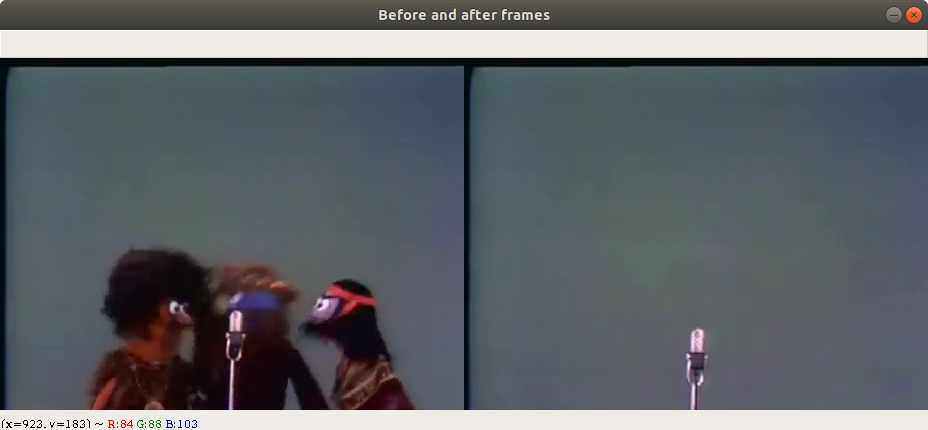
* Αλλά ας υποθέσουμε ότι μπορείτε να εντοπίσετε όλα τα μακρομπλόκ ενός πλαισίου που αντιστοιχούν στο παρασκήνιο. Πως μπορείτε να αξιοποιήσετε αυτό το γεγονός, πλέον της χρήσης αντιστάθμισης κίνησης σε επίπεδο μακρομπλόκ;

## Εκτέλεση

Η επίλυση της άσκησης βρίσκεται στον φάκελο codebase/exercise-8.18 και συγκεκριμένα στο αρχείο object\_removal.py. Εκτελούμε τον κώδικα με την εντολή:

* python exercise-8.18/object\_removal.py

Παρατηρούμε αμέσως ότι εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο απεικονίζονται δυο βίντεο. Το πρώτο είναι το βίντεο αναφοράς της άσκησης και το δεύτερο είναι το ίδιο βίντεο μόνο που έχουμε αφαιρέσει τους τρεις κινούμενους χαρακτήρες στο προσκήνιο.



Μόλις προβληθούν όλα τα πλαίσια του βίντεο το πρόγραμμα τερματίζει.

## Επεξήγηση

Σε αυτή την άσκηση χρησιμοποιήσαμε ένα βίντεο με καρτούν 10 δευτερολέπτων. Στόχος μας είναι η απομάκρυνση των τριών χαρακτήρων που κινούνται στο προσκήνιο με μακρομπλόκ από το πρώτο πλαίσιο του βίντεο, πριν εμφανιστούν. Επιλέξαμε το πρώτο πλαίσιο επειδή τα διανύσματα κίνησης είναι σχεδόν μηδενικά λόγω του ότι το παρασκήνιο είναι στατικό. Αφού χωρίσαμε το βίντεο σε 16 χ 16 μακρομπλόκ, το κάθε επόμενο πλαίσιο δανείζεται τα μακρομπλόκ του προηγούμενου από τη μέση και κάτω. Εφόσον το δεύτερο πλαίσιο παιρνει τα μακρομπλόκ παρασκηνίου του πρώτου, το τρίτο του δεύτερου κ.ο.κ. έχουμε ως αποτέλεσμα την αφαίρεση των κινούμενων χαρακτήρων από το βίντεο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνική αυτή έχει κάποιες παρενέργειες στο βίντεο, ένας προσεκτικός παρατηρητής μπορεί να διαπιστώσει ότι από τη μέση και κάτω υπάρχει μια απότομη αλλαγή στα εικονοστοιχεία του παρασκηνίου. Επίσης, εάν το παρασκήνιο είχε κάποια επιπλέον στατικά χαρακτηριστικά, αυτό θα απαιτούσε μια πιο προσεκτική αντικατάσταση των μακρομπλόκ. Τέλος, σε ένα πραγματικό παράδειγμα, μπορεί να υπήρχαν αλλαγές στη φωτεινότητα πράγμα που δεν μας απασχολεί σε αυτή τη περίπτωση.

Για να αντιμετωπίσουμε τις παρενέργειες στα όρια των μακρομπλόκ προτείνουμε τις εξής λύσεις:

* Έξυπνη αντικατάσταση από μακρομπλόκ του ίδιο και όχι προηγούμενου πλαισίου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι εφόσον οι χαρακτήρες δεν καλύπτουν όλο το παρασκήνιο, μπορούμε να πάρουμε μέρους του από το ίδιο στιγμιότυπο.
* Συνδυασμός μακρομπλόκ από το ίδιο και προηγούμενα πλαίσια ώστε να λαμβάνεται υπ’ όψη ο φωτισμός και άλλα χαρακτηριστικά του παρασκηνίου που μπορεί να μην είναι διακριτά σε ένα διάστημα πλαισίων της κίνησης των χαρακτήρων.

# Βοηθητικές συναρτήσεις

Το αρχείο codebase/functions.py περιέχει χρήσιμες συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται στον κώδικα των ασκήσεων. Ας δούμε λεπτομερώς πως λειτουργούν.

## frame\_to\_macroblocks(frame)

Η συνάρτηση δέχεται ένα οποιοδήποτε πλαίσιο και επιστρέφει πίνακα τεσσάρων διαστάσεων που περιέχει όλα τα μακρομπλόκ.

Βήματα για την δημιουργία των μακρομπλόκ:

* Μεταβολή του πλάτους και ύψους του εκάστοτε πλαισίου ώστε να μπορέσουμε να διαιρέσουμε την εικόνα σε 16 × 16 μακρομπλόκ (προεπιλογή).
* Εάν το πλαίσιο που προκύψει έχει μεγαλύτερη διάσταση από το αρχικό, συμπληρώνεται με μαύρα εικονοστοιχεία.
* Διατρέχουμε όλες τις γραμμές και στήλες του νέου πλαισίου με βήμα ανάλογο με το μέγεθος του μακρομπλόκ.
* Αποθηκεύουμε το μακρομπλόκ στην εκάστοτε γραμμή και στήλη του πίνακα αποτελεσμάτων.

Τέλος επιστρέφουμε τον πίνακα αποτελεσμάτων της μορφής: (γραμμή, στήλη, μακρομπλόκ, 16, 16, 3).

## macroblocks\_to\_frame(macroblocks)

Η συνάρτηση δέχεται ένα αποτέλεσμα της συνάρτησης frame\_to\_macroblocks και επιστρέφει τον ανακατασκευασμένο πλαίσιο.

Διατρέχουμε τον πίνακα αποτελεσμάτων των μακρομπλόκ ανά γραμμή και στήλη και τοποθετούμε όλα τα pixel ξανά σε διαστάσεις πλαισίου.

Επιστρέφουμε το νέο πλαίσιο που μπορούμε έπειτα να το προβάλλουμε σαν εικόνα.

## fit\_size(x)

Επιστρέφει έναν ακέραιο αριθμό y που διαιρείται από το μέγεθος του μακρομπλόκ και είναι ο πλησιέστερος μεγαλύτερος αριθμός στον x.

## get\_sad(m\_prev, m\_next):

Η συνάρτηση δέχεται δυο μακρομπλόκ, ενός πλαισίου αναφοράς (m\_prev) και ενός πλαισίου στόχου (m\_next) αντίστοιχα. Επιστρέφει την μετρική τιμή SAD για αυτά τα δυο μακρομπλόκ.

Διατρέχουμε τους δυο πίνακες μακρομπλόκ ανά εικονοστοιχείο και προσθέτουμε στο σκορ την απόλυτη διαφορά ανά χρωματική συνιστώσα.

Το αποτέλεσμα που επιστρέφουμε είναι το άθροισμα των απόλυτων διαφορών από όλα τα εικονοστοιχεία.

## get\_best\_match(ms\_prev, next\_row, next\_col, m\_next)

Εφαρμόζει λογαριθμική αναζήτηση για ένα μακρομπλόκ (m\_next) που βρίσκεται στη θέση (next\_row, next\_col) με βάση τα μακρομπλόκ του πλαισίου αναφοράς (ms\_prev).

Τα βήματα αντιστοίχισης μακρομπλόκ:

* Συλλέγουμε τις 8 γειτονικές θέσεις γύρω από το μακρομπλόκ του πλαισίου στόχου εφόσον υπάρχουν.
* Υπολογίζουμε τις μετρικές SAD για τα 8 γειτονικά μακρομπλόκ.
* Επαναπροσδιορίζουμε το κέντρο αναζήτησης στο γειτονικό μακρομπλόκ με το μικρότερο σκορ SAD.
* Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία με k = 16 μειώνοντας κάθε φορά το k στο μισό, μέχρι το k να γίνει 1.

Τέλος, επιστρέφουμε το μακρομπλόκ που επιλέχθηκε μετά από αλλεπάλληλες αλλαγές του κέντρου αναζήτησης.

# Αναφορές

*Sesame Street - Mad*. (n.d.). Retrieved from YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=D6oINRXLt-8

Tips, P. (n.d.). *PG tips Green Tea*. Retrieved from YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=mEh5GiQ4\_Yk