Ομάδα 12 Κυριακοπούλου Φωτεινή ΑΜ 03120182 Μπουφίδης Ιωάννης ΑΜ 03120162

#### Άσκηση 1

A) Τα αποτελέσματα των reports που λάβαμε από το Estimate Performance είναι τα παρακάτω:

#### Latency (clock cycles) □ Summary Latency Interval max min max min 475204 475204 475205 475205 none Details Performance estimates for 'calcDistancesHW in main.cpp:24 .. **⊞** Instance HW accelerated (Estimated cycles) 3244037 □ Loop Latency Initiation Interval Loop Name min max Iteration Latency achieved target Trip Count Pipelined Resource utilization estimates for HW functions - LOAD\_DATA\_HW TMP 34816 34816 34 1024 Resource + LOAD DATA HW TMP.1 32 32 1 32 no - LOAD MOVIE TMP 22 no DSP 80 6,25 - COMPUTE\_DISTS 438272 438272 428 1024 no **BRAM** 33 60 55 + COMPUTE\_DISTS.1 416 416 13 32 - WRITE\_DISTS 2048 2048 1024 LUT 1652 17600 9,39 1060 35200 3,01

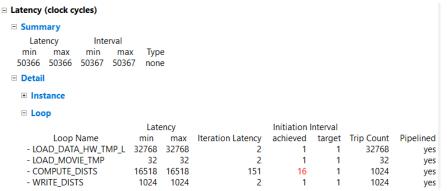
Από τα παραπάνω, παρατηρούμε ότι το Loop **COMPUTE\_DISTS** απαιτεί τους περισσότερους κύκλους εκτέλεσης.

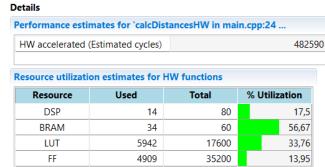
B) Τρέχοντας την εφαρμογή στο zybo board έχουμε την ακόλουθη έξοδο:

```
Started reading dataset...
Finished reading dataset...
Started reading name id mapping...
Finished reading name id mapping...
Input movie id = 0
Started distance calculations on software...
Finished distance calculations on software...
Started distance calculations on hardware...
Finished distance calculations on hardware...
Recommendation system start to make inference
Recommendations for movie with id 0:
0. Jurassic Park (1993), with distance of 10.7121
  Fish Called Wanda A (1988), with distance of 11.0793
2. Back to the Future (1985), with distance of 11.6404
3. Star Wars: Episode VI - Return of the Jedi (1983), with distance of 11.8849
  Lion King The (1994), with distance of 12.0623
  Raising Arizona (1987), with distance of
7. Batman (1989), with distance of 12.2066
8. Princess Bride The (1987), with distance of 12.3085
9. E.T. the Extra-Terrestrial (1982), with distance of 12.3996
Hardware cycles: 3264783
Software cycles: 1390317
                : 0.425853
Correct = 1024, Score = 1.000000
```

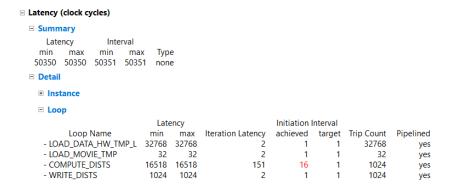
Η εφαρμογή, όπως φαίνεται, απαιτεί **3264783 κύκλους** για την εκτέλεση της, αριθμός που **συμφωνεί** με την πρόβλεψη του ερωτήματος (A). Ωστόσο, **δεν υπάρχει speedup** (0.425853 < 1) σε σχέση με την SW εκτέλεση στον ARM.

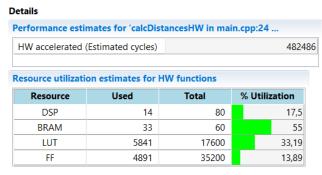
- Γ) Δοκιμάσαμε τα παρακάτω optimizations:
  - 1. Χρησιμοποιήσαμε την #pragma HLS pipeline II=1, ώστε οι εντολές των loop να πραγματοποιούνται παράλληλα. Τα αποτελέσματα των reports είναι τα εξής:





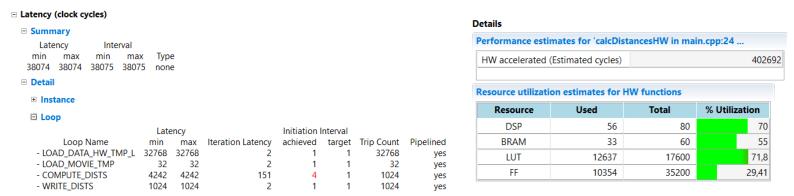
- $\rightarrow$  Παρατηρούμε ότι το Loop COMPUTE\_DISTS μπορεί να γίνει με II = 16. Όλα τα υπόλοιπα γίνονται fully pipelined.
  - 2. Από την στιγμή που μπορούν να γίνονται παράλληλες προσβάσεις στον πίνακα movie\_tmp (Loop LOAD\_MOVIE\_TMP), προσθέτουμε το HLS directive #pragma HLS array\_partition variable=movie\_tmp complete. Τα αποτελέσματα είναι:





→ Τα reports που παράγονται από το *Estimate Performance*, δείχνουν ότι υπάρχει μια μικρή βελτίωση, τόσο στους κύκλους που απαιτούνται, όσο και στο utilization των πόρων.

3. Στην συνέχεια προσπαθήσαμε μέσω του #pragma HLS array\_partition variable=data\_hw\_tmp block factor=4 dim=2, να μειώσουμε το Initiation Interval του Loop COMPUTE\_DISTS. Τα αποτελέσματα της πρόβλεψης είναι τα παρακάτω:



- Mε αυτό το HLS directive πετύχαμε II = 4 στο συγκεκριμένο Loop και σημαντική μείωση των κύκλων.
   Ωστόσο, παρατηρούμε μεγαλύτερη, αλλά αποδεκτή κατανάλωση των πόρων.
  - Στο συγκεκριμένο directive, δοκιμάσαμε και block factor ≥8, αλλά απαιτούνταν περισσότεροι πόροι από αυτούς που είχαμε διαθέσιμους.
  - Για μικρότερο block factor, η απόδοση της εφαρμογής μειώνεται.
  - 4. Δοκιμάσαμε loop unrolling για τη μείωση του loop overhead. Ωστόσο, **δεν υπήρχε μείωση** των **κύκλων** εκτέλεσης, παρά μόνο **αύξηση** της **χρήσης FFs**.

Μέχρι στιγμής, δεν μπορούμε να πετύχουμε pipelined design, καθώς δεν μπορούσαμε να ρίξουμε το Initiation Interval του Loop COMPUTE\_DISTS κάτω από 4.

Τρέχοντας το νέο πρόγραμμα (calcDist\_1.cpp) στο board, έχουμε το εξής:

```
Started reading dataset...
Finished reading dataset...
Started reading name id mapping...
Finished reading name id mapping...
Input movie id = 0
Started distance calculations on software...
Finished distance calculations on software...
Started distance calculations on hardware...
Finished distance calculations on hardware...
Recommendation system start to make inference
Recommendations for movie with id 0:
0. Jurassic Park (1993), with distance of 10.7121
1. Fish Called Wanda A (1988), with distance of 11.0793
2. Back to the Future (1985), with distance of 11.6404
3. Star Wars: Episode VI - Return of the Jedi (1983), with distance of 11.8849
4. Lion King The (1994), with distance of 12.0623
5. Raising Arizona (1987), with distance of 12.1552
6. Wizard of Oz The (1939), with distance of 12.1861
7. Batman (1989), with distance of 12.2066
8. Princess Bride The (1987), with distance of 12.3085
9. E.T. the Extra-Terrestrial (1982), with distance of 12.3996
Hardware cycles : 421929
Software cycles: 1390105
                : 3.29464
Speedup
Correct = 1024, Score = 1.000000
```

Η απόδοση της εφαρμογής παρουσιάζει μεγάλη βελτίωση σε σχέση με την unoptimized, καθώς οι κύκλοι μειώνονται δραματικά (**421929**), ενώ το speedup αυξάνεται (**3.29464**).

#### Άσκηση 2

Σε αυτήν την φάση της άσκησης, χρησιμοποιήσαμε τη βιβλιοθήκη ap\_fixed με στόχο να δημιουργήσουμε custom datatypes και να βελτιώσουμε το design μας. Συγκεκριμένα, επιλέξαμε INT\_BITS = 10 και DEC\_BITS = 5, καθώς:

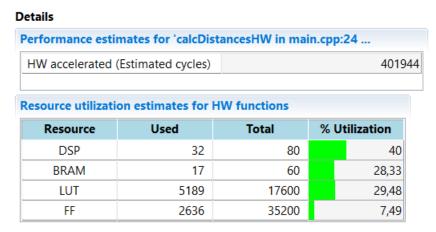
#### • <u>INT BITS</u>:

Τα ratings των ταινιών ανήκουν στο σύνολο  $\{0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5\}$ . Επομένως,  $diff \leq 5 \rightarrow diff * diff \leq 25 \rightarrow sum \leq 25 * USERS = 800 < 1024$ . Οπότε, για να αναπαρασταθεί ο μεγαλύτερος αριθμός που μπορεί να εμφανιστεί, απαιτούνται **10 bits**.

### • <u>DEC BITS</u>:

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω ερωτημάτων, φαίνεται ότι μια ακρίβεια  $2^{-5}=0.03125$ , είναι αρκετή για να προκύψουν τα σωστά recommendations.

Για τις παραπάνω τιμές και προσθέτοντας τα HLS directives της Άσκησης 1, έχουμε το εξής performance estimation:



→ Παρά την **μικρή μείωση των κύκλων εκτέλεσης**, παρατηρούμε **σημαντική μείωση της χρήσης** των πόρων.

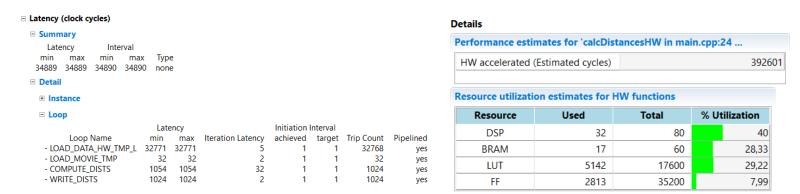
Τρέχοντας το πρόγραμμα (calcDist 2.cpp) στο board, λαμβάνουμε τα εξής:

```
Started reading dataset...
Finished reading dataset...
Started reading name id mapping...
Finished reading name id mapping...
Input movie id = 0
Started distance calculations on software...
Finished distance calculations on software...
Started distance calculations on hardware...
Finished distance calculations on hardware...
Recommendation system start to make inference
Recommendations for movie with id 0:
0. Jurassic Park (1993), with distance of 10.7121
1. Fish Called Wanda A (1988), with distance of 11.0793
2. Back to the Future (1985), with distance of 11.6404
3. Star Wars: Episode VI - Return of the Jedi (1983), with distance of 11.8849
4. Lion King The (1994), with distance of 12.0623
5. Raising Arizona (1987), with distance of 12.1552
6. Wizard of Oz The (1939), with distance of 12.1861
7. Batman (1989), with distance of 12.2066
8. Princess Bride The (1987), with distance of 12.3085
9. E.T. the Extra-Terrestrial (1982), with distance of 12.3996
Hardware cycles: 421890
Software cycles : 1360939
Speedup
Correct = 1024, Score = 1.000000
```

Παρατηρούμε ότι, όσο αφορά το speedup και το hardware cycles, λαμβάνουμε **παρόμοια αποτελέσματα** με το προήγουμενο optimization.

#### Άσκηση 3

Από την στιγμή που με το optimization της άσκησης 2 πετύχαμε μικρότερη αξιοποίηση των πόρων, μπορούμε να αλλάξουμε το block factor του partition array σε 16. Εκτελώντας το performance estimation, βλέπουμε:



→Παρατηρούμε πως πετυχαίνουμε pipelined design της εφαρμογής, πράγμα που οδηγεί σε μείωση των κύκλων εκτέλεσης.

Τρέχοντας το νέο πρόγραμμα (calcDist\_3.cpp) στο board, έχουμε:

```
Started reading dataset...
Finished reading dataset...
Started reading name id mapping...
Finished reading name id mapping...
Input movie id = 0
Started distance calculations on software...
Finished distance calculations on software...
Started distance calculations on hardware...
Finished distance calculations on hardware...
Recommendation system start to make inference
Recommendations for movie with id 0:
0. Jurassic Park (1993), with distance of 10.7121
1. Fish Called Wanda A (1988), with distance of 11.0793
2. Back to the Future (1985), with distance of 11.6404
3. Star Wars: Episode VI - Return of the Jedi (1983), with distance of 11.8849
4. Lion King The (1994), with distance of 12.0623
5. Raising Arizona (1987), with distance of 12.1552
6. Wizard of Oz The (1939), with distance of 12.1861
7. Batman (1989), with distance of 12.2066
8. Princess Bride The (1987), with distance of 12.3085
9. E.T. the Extra-Terrestrial (1982), with distance of 12.3996
Hardware cycles: 401144
Software cycles: 1390078
Speedup
                : 3.46528
       = 1024, Score = 1.000000
```

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι οι κύκλοι εκτέλεσης μειώνονται σημαντικά (**401144**), αλλά και ότι το speedup αυξάνεται (**3.46528**), χάρη στην υλοποίηση του pipelined design.