

## Άσκηση 1

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

### Latency (clock cycles)

#### Summary

Latency		Interval		Type
min	max	min	max	
475204	475204	475205	475205	none

#### Detail

##### Instance

##### Loop

Loop Name	Latency		Iteration	Latency	Initiation Interval		Trip Count	Pipelined
	min	max			achieved	target		
- LOAD_DATA_HW_TMP	34816	34816		34	-	-	1024	no
+ LOAD_DATA_HW_TMP.1	32	32		1	-	-	32	no
- LOAD_MOVIE_TMP	64	64		2	-	-	32	no
- COMPUTE_DIST	438272	438272		428	-	-	1024	no
+ COMPUTE_DIST.1	416	416		13	-	-	32	no
- WRITE_DIST	2048	2048		2	-	-	1024	no

### Details

#### Performance estimates for 'calcDistancesHW in main.cpp:24 ...

HW accelerated (Estimated cycles)	3244037
-----------------------------------	---------

#### Resource utilization estimates for HW functions

Resource	Used	Total	% Utilization
DSP	5	80	6,25
BRAM	33	60	55
LUT	1652	17600	9,39
FF	1060	35200	3,01

Από τα παραπάνω, παρατηρούμε ότι το Loop **COMPUTE\_DIST** 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
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 : 3264783
Software cycles : 1390317
Speedup : 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.

### 3<sup>η</sup> Άσκηση – Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων

Γ) Δοκιμάσαμε τα παρακάτω optimizations:

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

#### Latency (clock cycles)

##### Summary

Latency		Interval		Type
min	max	min	max	
50366	50366	50367	50367	none

##### Detail

###### Instance

###### Loop

Loop Name	Latency		Iteration Latency	Initiation Interval		Trip Count	Pipelined
	min	max		achieved	target		
- LOAD_DATA_HW_TMP_L	32768	32768	2	1	1	32768	yes
- LOAD_MOVIE_TMP	32	32	2	1	1	32	yes
- COMPUTE_DISTIS	16518	16518	151	16	1	1024	yes
- WRITE_DISTIS	1024	1024	2	1	1	1024	yes

#### Details

##### Performance estimates for 'calcDistancesHW in main.cpp:24 ...

HW accelerated (Estimated cycles)	482590
-----------------------------------	--------

##### Resource utilization estimates for HW functions

Resource	Used	Total	% Utilization
DSP	14	80	17,5
BRAM	34	60	56,67
LUT	5942	17600	33,76
FF	4909	35200	13,95

→ Παρατηρούμε ότι το Loop COMPUTE\_DISTIS μπορεί να γίνει με  $II = 16$ . Όλα τα υπόλοιπα γίνονται fully pipelined.

- 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:

#### Latency (clock cycles)

##### Summary

Latency		Interval		Type
min	max	min	max	
50350	50350	50351	50351	none

##### Detail

###### Instance

###### Loop

Loop Name	Latency		Iteration Latency	Initiation Interval		Trip Count	Pipelined
	min	max		achieved	target		
- LOAD_DATA_HW_TMP_L	32768	32768	2	1	1	32768	yes
- LOAD_MOVIE_TMP	32	32	2	1	1	32	yes
- COMPUTE_DISTIS	16518	16518	151	16	1	1024	yes
- WRITE_DISTIS	1024	1024	2	1	1	1024	yes

#### Details

##### Performance estimates for 'calcDistancesHW in main.cpp:24 ...

HW accelerated (Estimated cycles)	482486
-----------------------------------	--------

##### Resource utilization estimates for HW functions

Resource	Used	Total	% Utilization
DSP	14	80	17,5
BRAM	33	60	55
LUT	5841	17600	33,19
FF	4891	35200	13,89

→ 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<sup>η</sup> Άσκηση – Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων

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:

#### Latency (clock cycles)

##### Summary

Latency		Interval		Type
min	max	min	max	
38074	38074	38075	38075	none

##### Detail

##### Instance

##### Loop

Loop Name	Latency		Iteration	Latency	Initiation Interval		Trip Count	Pipelined
	min	max			achieved	target		
- LOAD_DATA_HW_TMP_L	32768	32768	2	2	1	1	32768	yes
- LOAD_MOVIE_TMP	32	32	2	2	1	1	32	yes
- COMPUTE_DISTS	4242	4242	151	151	4	1	1024	yes
- WRITE_DISTS	1024	1024	2	2	1	1	1024	yes

#### Details

##### Performance estimates for 'calcDistancesHW in main.cpp:24 ...

HW accelerated (Estimated cycles)	402692
-----------------------------------	--------

##### Resource utilization estimates for HW functions

Resource	Used	Total	% Utilization
DSP	56	80	70
BRAM	33	60	55
LUT	12637	17600	71,8
FF	10354	35200	29,41

→ Με 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.

### 3<sup>η</sup> Άσκηση – Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων

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
Speedup          : 3.29464
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:

- INT\_BITS:

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**.

- DEC\_BITS:

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

### 3<sup>η</sup> Άσκηση – Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων

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

#### Details

##### Performance estimates for 'calcDistancesHW in main.cpp:24 ...

HW accelerated (Estimated cycles)	401944
-----------------------------------	--------

##### Resource utilization estimates for HW functions

Resource	Used	Total	% Utilization
DSP	32	80	40
BRAM	17	60	28,33
LUT	5189	17600	29,48
FF	2636	35200	7,49

→ 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          : 3.22581
Correct = 1024, Score = 1.000000
```

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

### 3<sup>η</sup> Άσκηση – Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων

#### 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:

##### Latency (clock cycles)

###### Summary

Latency		Interval		Type
min	max	min	max	
34889	34889	34890	34890	none

###### Detail

###### Instance

###### Loop

Loop Name	Latency		Iteration	Initiation Interval		Trip Count	Pipelined
	min	max		achieved	target		
- LOAD_DATA_HW_TMP_L	32771	32771	5	1	1	32768	yes
- LOAD_MOVIE_TMP	32	32	2	1	1	32	yes
- COMPUTE_DISTS	1054	1054	32	1	1	1024	yes
- WRITE_DISTS	1024	1024	2	1	1	1024	yes

##### Details

###### Performance estimates for 'calcDistancesHW in main.cpp:24 ...

HW accelerated (Estimated cycles)	392601
-----------------------------------	--------

###### Resource utilization estimates for HW functions

Resource	Used	Total	% Utilization
DSP	32	80	40
BRAM	17	60	28,33
LUT	5142	17600	29,22
FF	2813	35200	7,99

→ 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
Correct = 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.