

Intel Threading Building blocks (TBB)  
rebranded “oneAPI TBB” (oneTBB)

# Intel Threading Building Blocks (TBB)

- Βιβλιοθήκη παραλληλισμού με threads, χρησιμοποιεί τα templates της C++
- Tasks, εκτελούνται από ομάδες threads (task arenas)
- Διάφορα επίπεδα interfaces
  - Default επιλογές και αρχικοποίηση για τις περισσότερες χρήσεις
  - Μεγαλύτερος έλεγχος για τις ειδικές περιπτώσεις
  - Parallel algorithms, containers, control flow graphs
  - Tasks, Memory allocation & Mutual exclusion

# C++ standards

- TBB: χρήση «νέων» χαρακτηριστικών από πρότυπο C++11
  - Όχι και τόσο νέα πια..
    - C++23 (αναμένεται)
    - C++20 (πειραματική υποστήριξη από GCC)
    - C++17 (default από GCC 11)
    - C++14 (default από GCC 6.1)
    - C++11 (πρώην C++0x, πλήρης υποστήριξη από GCC 4.8.1)

Χαρακτηριστικά  
παραλληλισμού  
χωρίς πρόσθετες  
βιβλιοθήκες

# GCC: C++11 και βιβλιοθήκη TBB

- Command line:

```
g++ -Wall -O2 -std=c++11 file.cpp -o file -ltbb
```

ρητή δήλωση,  
δεν είναι default

στο τέλος

# GCC και TBB

- Στο εργαστήριο χρησιμοποιούμε τη βιβλιοθήκη TBB του συστήματος
  - Υπάρχει στις περισσότερες διανομές linux
    - π.χ. libtbb2
    - Χρειάζονται όμως και τα header files (π.χ. libtbb-dev)
    - Αρκεί το `#include <tbb/tbb.h>`
  - Σε custom εγκατάσταση του TBB πιθανόν να χρειαστεί να δοθεί στο GCC η θέση των βιβλιοθηκών και των header files
    - βλ. <https://www.intel.com/content/www/us/en/develop/documentation/get-started-with-onetbb/top.html>

# Lambda expressions (C++11)

- Δυνατότητα δημιουργίας «ανώνυμων» συναρτήσεων
  - Που μπορούν να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιηθούν αργότερα με ασύγχρονο τρόπο (δηλ. ως callbacks)
  - Ποιο είναι το πρόβλημα που πρέπει να λυθεί:
    - Οι τιμές των μεταβλητών κατά τη δημιουργία του lambda πρέπει να διατηρηθούν και στη χρήση του (που θα γίνει αργότερα...)
    - “Closure”, το αναλαμβάνει ο μεταγλωττιστής

# Το πρόβλημα

```
int main() {  
    int k = 77;  
    auto lambda2 = [](int x) {  
        return x+33+k;  
    };  
    cout << lambda2(5) << endl;  
    return 0;  
}
```

Τι τιμή θα έχει το k  
τη στιγμή της  
εκτέλεσης του lambda;

Για την ακρίβεια, ο πιο πάνω κώδικας δημιουργεί σφάλμα κατά τη μεταγλώττιση

# “Capturing Closure”

```
int main() {  
    int k = 77;  
    auto lambda2 = [k](int x) {  
        return x+33+k;  
    };  
    cout << lambda2(5) << endl;  
    return 0;  
}
```

Τη στιγμή της δημιουργίας του lambda η τιμή του k συγκρατείται (captured) σε ένα ξεχωριστό περιβάλλον (closure)

Οι μεταβλητές μπορούν να συγκρατηθούν by value ή by reference.  
Μπορούν να συγκρατηθούν επιλεγμένες μεταβλητές ή όλες του περιβάλλοντος της δημιουργίας του lambda

Στο παρασκήνιο ο μεταγλωττιστής δημιουργεί ένα στιγμιότυπο κλάσης με τις αντίστοιχες μεταβλητές και τον τελεστή κλήσης () που περιέχει τον κώδικα του lambda



# Απλοί μετασχηματισμοί τύπου map

```
for (i=0;i<N;i++) {  
    a[i] = f(b[i],c[i],...)  
}
```

- TBB → **tbb::parallel\_for()**

# tbb::parallel\_for(first,last,func)

- Ισοδύναμο με το  
`for(i=first;i<last;i+=1) f(i);`
- Προαιρετικά μπορεί να οριστεί και το βήμα (step) της αύξησης του i
- Δεν υπάρχει εγγύηση αν/πώς θα εκτελεστούν παράλληλα οι επαναλήψεις
  - Καθορίζεται από τον **partitioner** που χρησιμοποιείται (default = auto\_partitioner)
- Δεν πρέπει να υπάρχουν αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των επαναλήψεων
- Προσοχή: τα first και last πρέπει να είναι του ίδιου τύπου
  - `parallel_for(size_t(0),N,...)` αν N είναι τύπου `size_t`

```
tbb::parallel_for(size_t(0),N,[&](size_t& i) {  
    f(i);  
});
```

# tbb::parallel\_for(range,body)

- Range: ένα μέρος των συνολικών επαναλήψεων
  - διαιρείται αναδρομικά σε 2 μέρη
  - έως ένα ελάχιστο μέγεθος
- Body: αντιστοιχεί στον κώδικα που θα εκτελεστεί σε κάθε τελικό range

# blocked\_range

- μια περιοχή επαναλήψεων [από,έως)
  - διαιρείται αναδρομικά το πολύ μέχρι ένα “grainsize” (default=1) – η τελική κατανομή εξαρτάται όμως και από τον partitioner που χρησιμοποιείται
    - auto\_partitioner: διαιρεί μόνο εάν υπάρχουν idle threads
  - Iterator interface, π.χ.

```
tbb::parallel_for(tbb::blocked_range<size_t>(0,N), [&](const tbb::blocked_range<size_t>& r) {  
    for (size_t i=r.begin(); i!=r.end(); ++i) {  
        f(i);  
    }  
});
```

# Απλοί μετασχηματισμοί τύπου reduce

```
double sum = 0.0;  
for (size_t i=0;i<N;++i) {  
    sum += a[i];  
}
```

- TBB → **tbb::parallel\_reduce()**

# tbb::parallel\_reduce(range, identity, func, reduction)

- Η εργασία στην περιοχή range διαιρείται σε υποπεριοχές και σε κάθε μία από αυτές εφαρμόζεται η επεξεργασία func
  - Αν π.χ. δουλεύουμε με doubles, η func θα είναι lambda με ορίσματα  
`[&... ](const tbb::blocked_range<size_t>& r, double init) -> double { ... }`
- Μετά τη λήξη της επεξεργασίας, τα μερικά αποτελέσματα συνδυάζονται μέσω της λειτουργίας reduction
  - Αν π.χ. δουλεύουμε με doubles, η reduction θα είναι lambda με ορίσματα  
`[ ](double x, double y) -> double { ... }`
- identity είναι η αρχική τιμή για κάθε επεξεργασία
  - «ταυτότητα», π.χ. αν δουλεύουμε με ints, το 0 για αθροίσματα, το 1 για τον πολλαπλασιασμό, το `std::numeric_limits<int>::min()` για την εύρεση του μέγιστου κ.ο.κ

# TBB Parallel Pipelines

- Παραλληλισμός σε επίπεδο λειτουργιών
  - Κλασσικό pipeline, χωρίς κύκλους
    - Όχι επεκτάσιμο όμως
- Αλλά και σε επίπεδο δεδομένων
  - Το TBB παρέχει παράλληλες βαθμίδες
    - Μπορεί να εκμεταλλευτεί αύξηση των hardware threads

# tbb::parallel\_pipeline

```
tbb::parallel_pipeline(max_concurrent_stages, filter1 & filter2 &  
filter3 & ... & filterN);
```

- Filters: οι βαθμίδες του pipeline
  - Σειριακές
    - Η πρώτη βαθμίδα που διαβάζει από ένα stream εισόδου (αρχείο, δίκτυο, κάμερα...)
    - Η τελευταία βαθμίδα (γράφει σε ένα stream εξόδου)
    - in order ή out of order
  - Παράλληλες
    - Οι ενδιαμέσες βαθμίδες
    - Χρήσιμο, αν όλες οι βαθμίδες δεν έχουν τον ίδιο φόρτο εργασίας



# Filters

- Χρήση templates
  - Τι δέχεται και τι παράγει κάθε βαθμίδα
    - Πρώτη βαθμίδα: είσοδος void, τελευταία βαθμίδα: έξοδος void  
`tbb::make_filter<input-type,output-type>(mode, functor)`
    - Modes
      - `tbb::filter::serial_in_order`
      - `tbb::filter::serial_out_of_order`
      - `tbb::filter::parallel`
    - Functors
      - Μια κλάση ή lambda με τον κώδικα της βαθμίδας
      - Με τις αντίστοιχες παραμέτρους εισόδου
      - Πρώτη βαθμίδα: όρισμα `tbb::flow_control& fc` (κλήση `fc.stop()` όταν δεν υπάρχουν άλλα δεδομένα)