

# Parallelisierungs-Paper WATOR

---

## Von Mandl Matthias und Vadle Peter

### Aufbau Ordner / How To:

Das Program wurde in Visual Studio 2022 geschrieben.



Das Tracefile befindet sich unter:

WATO\WatorConsoleProj\bin\Debug\trace.txt

Die Bilder befinden sich unter:

WATO\WatorConsoleProj\bin\Debug\PictureX.bmp



Zum Ausführen, die Datei WatorConsoleProj.exe mit der Commandline mit CommandArgs starten.(oder direkt in Visual Studio das Projekt starten)

Arg1=Pixel Anzahl einer Dimension z.b. 1000 => 1000x1000 Pixel

Keine, oder eine falsche Eingabe(<2 Oder >100000) führt zum default Wert 1000 x 1000 Pixel.

Arg2=Anzahl der Threads z.b. 8 => 8 Worker-Threads werden gestartet

Keine, oder eine falsche Eingabe(<1 Oder >1024) führt zum default Wert, wodurch 4 Worker-Threads gestartet werden.

Arg3=Bits für das Initialbild setzen z.b. 3:3.2:4.1:9 => bits an den Stellen (3,3) (2,4) und (1,9) werden gesetzt (nur genau dieses Format wird unterstützt)

Keine Eingabe führt default mäßig zu einem Random aufgefülltem Initialbild.

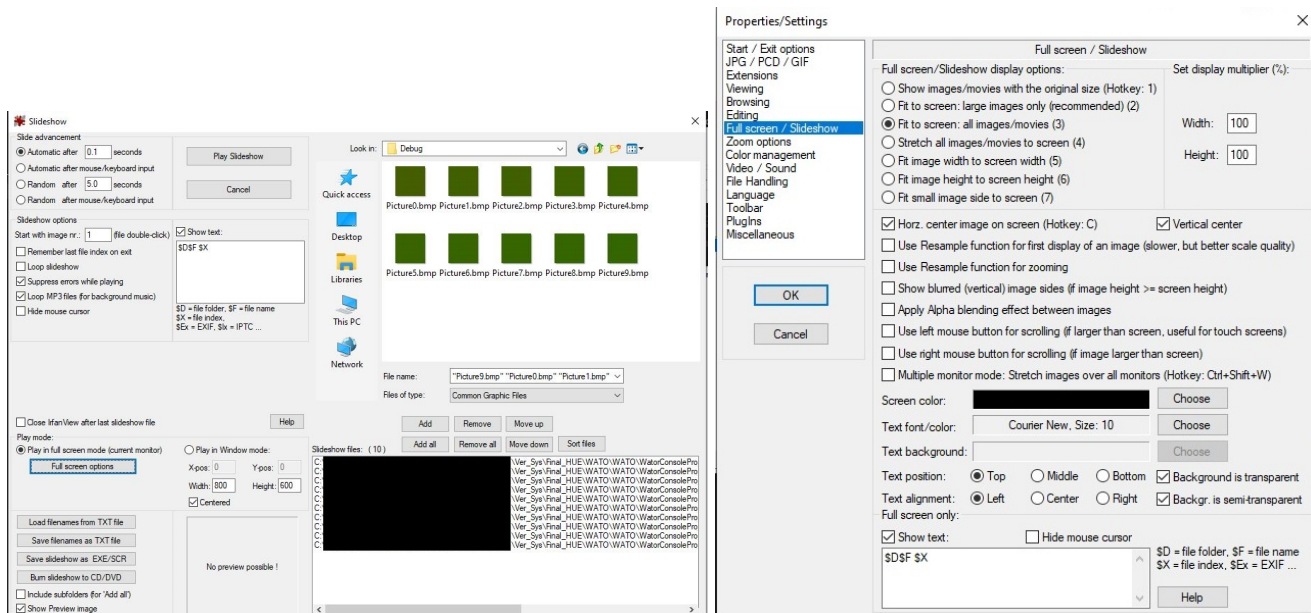
```
\WATO\WatorConsoleProj\bin\Debug> .\WatorConsoleProj.exe
```

=> führt zu 1000x1000 Pixel, 4 Worker-Threads und einem Random aufgefülltem Initialbild

```
\WATO\WatorConsoleProj\bin\Debug> .\WatorConsoleProj.exe 100 2 3:3.1:5.6:6
```

=> führt zu 100x100 Pixel, 2 Worker-Threads und einem leeren Initialbild mit gesetzten Pixel auf den Stellen (3,3) (1,5) und (6,6)

Zum darstellen der Bilder wurde die Slideshow von IrfanView verwendet. Hierzu: File=>Slideshow=>Rechts zum Ordner navigieren, die Bilder markieren "Add All"(optional: Links oben "Automatic after" z.B. 0.1 Sekunden + links unten "Full Screen Options"=> "Full screen / Slideshow" => option 3 + Häkchen weg bei "Use Resample function for first display on an image")



## Konzepterstellung

Zu aller erst, haben wir das Problem analysiert und durchgeschaut, welche der "Algorithm Structure Patterns" und "Supporting Structure Patterns" wir für dieses Problem verwenden könnten. In Frage gekommen sind für uns besonders für "Algorithm Structure Patterns":

- Geometric decomposition
- Divide and Conquer

Nach weiteren Überlegungen war für dieses Beispiel "Geometric decomposition" die logischere Wahl als "Divide and Conquer". In Divide and Conquer wäre es schwieriger und mit mehr Aufwand verbunden gewesen, die Teile zu zerteilen und wieder zusammen zu führen.

Die Berechnungen wären wahrscheinlich nicht aufwendig genug gewesen um das Erstellen der Tasks zu kompensieren.

Für "Supporting Structure Patterns" wurden die Folgenden Patterns ausgewählt:

- Master / Worker
- Distributed array
- Shared Queue (Wurde in der finalen Version nicht mehr verwendet.)

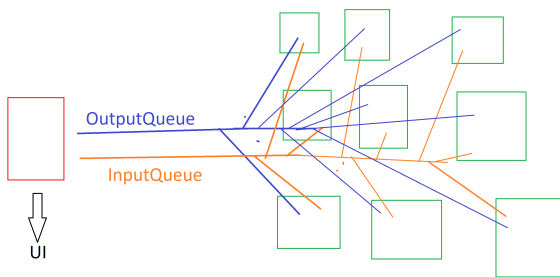
Master / Worker Pattern unterstützt die Aufteilung von Felder auf kleinere chunks. Der Master teilt auf und die Worker arbeiten die aufgeteilten Segmente ab und reichen es wieder zum Master zurück.

Distributed Array unterstützt die Aufteilung von einem ganzen array auf kleinere arrays, damit die Worker ihr eigenes array haben und wir dadurch einen Fehler, der durch das gleichzeitige Zugreifen auf einen Datenbestand passieren würde, verhindern.

## Erster Versuch / erste Version

Unsere erste Überlegung war es, ein großes 2D Array zu haben und Geometric decomposition, Master / Worker, Distributed Array und Shared Queue zu verwenden. Dieses 2D Array sollte in Vierecke zerteilt werden und eine Position zugeordnet bekommen. Diese Viereck-Array-Teile werden in eine Output-SharedQueue gesteckt worauf alle Worker Zugriff haben. Ein zufälliger Worker nimmt dieses Viereck-Array-Teil, berechnet es

und steckt es in die Input-SharedQueue. Der Master hört ständig auf die Input-SharedQueue und fügt die kommenden Teile in das große 2D Array zusammen.



Nachteile:

- Die Queues sind ein Bottleneck, da alle auf die gleiche Queue zugreifen
- Der Master hat sehr viel Arbeit die Teile zusammenzuführen, aufzuteilen und in die Queue zu stecken.
- Das 2D Array in Vierecke aufzuteilen bringt Komplexität beziehungsweise Einschränkungen mit sich. Etwa man schränkt die Möglichkeiten so ein, dass die Anzahl der Threads  $n^4$  sein muss, sprich 4-16-64-256 und das 2D Array auch in so viele gleichgroße Vierecke Teilbar ist. Oder man muss viele Fälle berücksichtigen, wie 3x3, ungleiche Vierecke, z.b. 10x10 mit 2 Threads. Diese Fälle würden eine vermeidbare Komplexität in den Code bringen.

## Zweite / finale Version

Nachdem die erste Version viele Nachteile mit sich bringt, wurde versucht das Konzept zu überarbeiten und die Probleme der ersten Version zu minimieren.

- Anstatt Vierecke zu verwenden wird das 2D Array in Zeilen-Teile zerteilt. Hiermit ist das Zerteilen einfacher und die Anzahl an Threads flexibler. (Einschränkung Pixel Modulo Threads == 0)
- Jedes Zeilen-Teil hat hierbei seine Zeilen und die Ghost Boundaries.
- Anstatt Queues zu verwenden übergibt der MasterThread die Payloads direkt an den jeweiligen Worker. Der WorkerThread wenn er fertig mit der Berechnung ist, ruft dann selbst das event auf, bei dem seine Daten in das "Master-2D-Array" geschrieben werden und der Master hat hiermit keinen Aufwand.

## Ablauf

Master Thread:

- Der Master wird mit der Anzahl an Threads und dem initialen List< List< bool>> Bild initialisiert.
- Der Master erstellt die Anzahl an Worker und fügt sie einer Liste An Worker hinzu. Jeder Worker wird gestartet und einem Event angehängt.



```
worker.FireOnWorkerIsDone += Worker_WorkerIsDone;
```

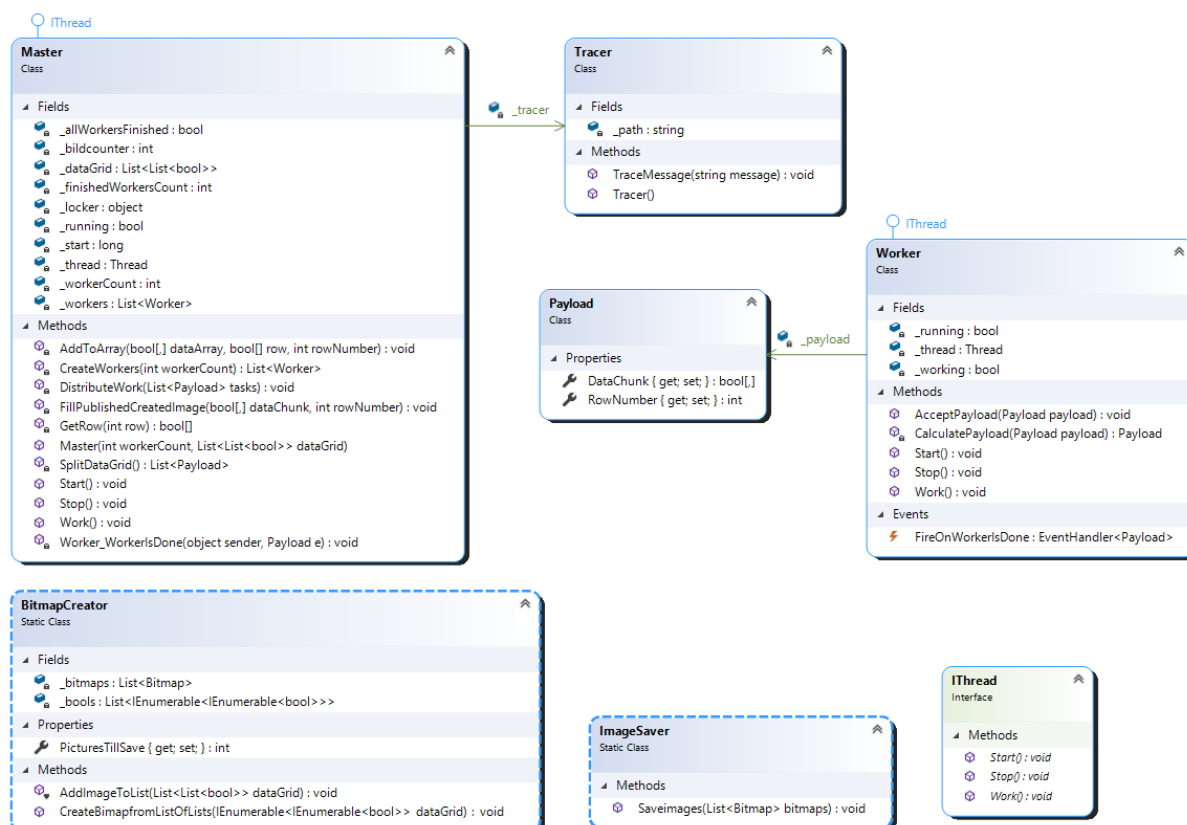
- [SplitDataGrid] Der Master zerteilt das Bild in Payloads, welche ein 2D Array und eine Rownumber beinhalten. Das 2D Array beinhaltet die zugewiesenen Zeilen inklusive der GhostBoundaries.
- [DistributeWork] Der Master verteilt die Arbeit an die Worker und gibt jedem eine Payload (die Reihenfolge ist hierbei egal, da die Payload die "Rownumber" hat)

- Nun geht der Master so lange schlafen, bis alle Worker mit dem derzeitigen Bild fertig sind und er wieder von vorne anfangen kann.

#### Worker Thread:

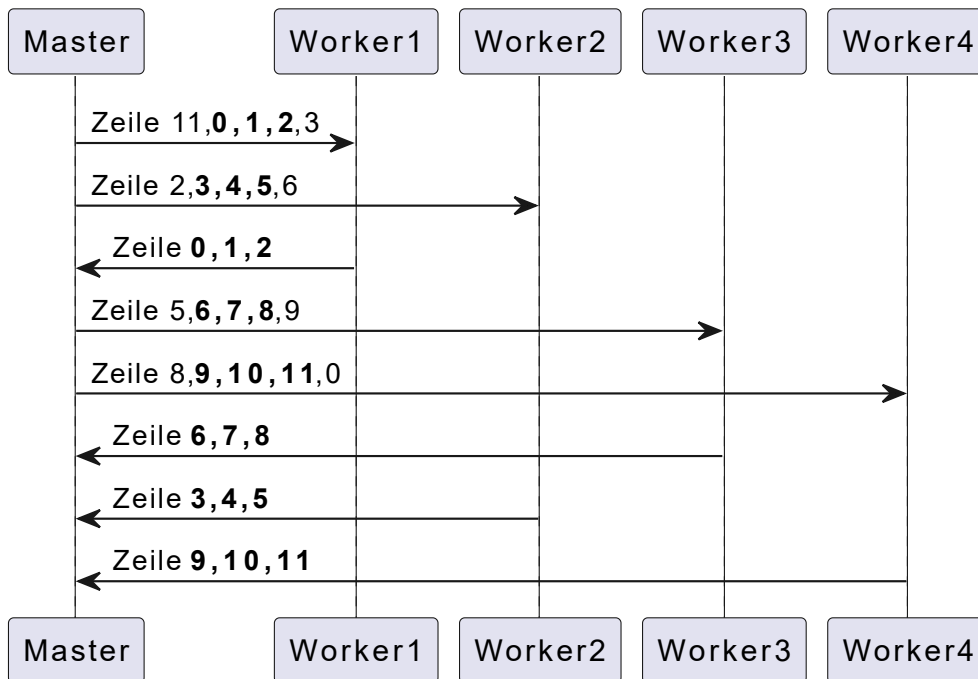
- Sobald der Worker eine Payload erhält, wird er von dem Master auf "working" gesetzt und arbeitet sobald er am Zug ist.
- [CalculatePayload] Der Worker berechnet seine zugewiesene Payload inklusive Ghost Boundaries und liefert die berechnete Payload ohne Ghost Boundaries zurück.
- Nun feuert der Worker das event [FireOnWorkerIsDone] mit seiner Payload. Hierbei wird [Worker\_WorkerIsDone] in der Masterklasse, aber noch im WorkerThread ausgeführt. Dieser Teil wird gelockt.
- [FillPublishedCreatedImage] Hierbei wird die berechnete Payload des Workers auf das List< List< bool>> Bild des Masters überschrieben.
- Falls alle Worker fertig sind wird das Bild dem [BitmapCreator] übergeben und der Master startet wieder von vorne.
- Falls [BitmapCreator.PicturesTillSave] X viele Bilder gespeichert wurden, wird die verbrauchte Zeit für die Berechnung in das trace.txt Logfile geschrieben und die Bilder in Bitmaps umgeformt und anschließend mithilfe des [ImageSaver]s mithilfe von Parallel.For, Parallel in Files geschrieben. (Die IO Aufgaben benötigen sehr viel Zeit, deswegen werden sie erst nach X vielen Bildern durchgeführt und bei der Zeitmessung nicht mitgerechnet. Mithilfe des Parallel.For wird versucht das Speichern der Bilder möglichst kurz zu halten) (Parallel.For mithilfe von ParallelOptions .MaxDegreeOfParallelism lässt die maximale anzahl an Threads angeben. Diese wird in unserem Fall auf die Anzahl der Worker gesetzt, also z.B. 1,2,4,8,16 )
- Anschließend legt sich der Worker wieder schlafen, bis er eine neue Aufgabe zugewiesen bekommt

#### Klassendiagramm:

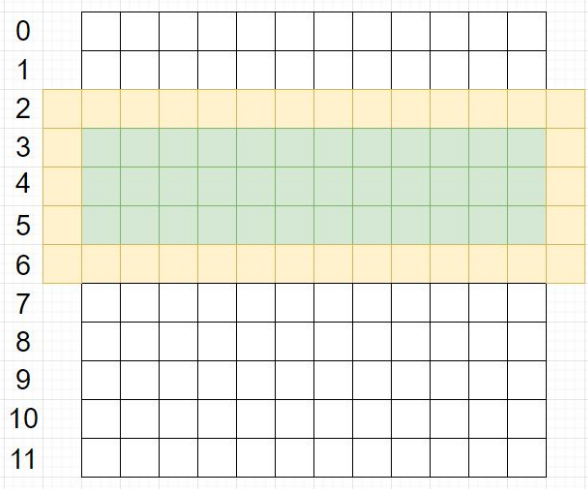


## Sequenzdiagramm

(durch die Threads ist die Reihenfolge von Worker nicht immer gleich, dies ist eine Beispiel-Abfolge)



Hier wird Beispielsweise die Payload von Worker2 dargestellt. Er bekommt die Zeilen 2,3,4,5,6 (gelb+grün) sendet aber nur die Zeilen 3,4,5 (grün) zurück. Die gelben Kästchen sind hierbei die Ghost-Boundaries



## Performance Analyse:

Matthias PC 10000x10000 Pixel, X Threads, Messung für Berechnung von 10 Bilder:

Intel i5-4570 3.2GHz, 4 Cores, 4 Logical Processors

At [06:16:54.856] Timespan for 10 Rounds: **00:02:25.5450722** with 1 workers with 10000x10000 pixels

At [06:19:05.437] Timespan for 10 Rounds: **00:01:37.8710541** with 2 workers with 10000x10000 pixels

At [06:20:46.626] Timespan for 10 Rounds: **00:01:07.2211853** with 4 workers with 10000x10000 pixels

At [06:22:30.209] Timespan for 10 Rounds: **00:01:05.4831889** with 8 workers with 10000x10000 pixels

At [06:24:21.811] Timespan for 10 Rounds: **00:01:06.4279996** with 16 workers with 10000x10000 pixels

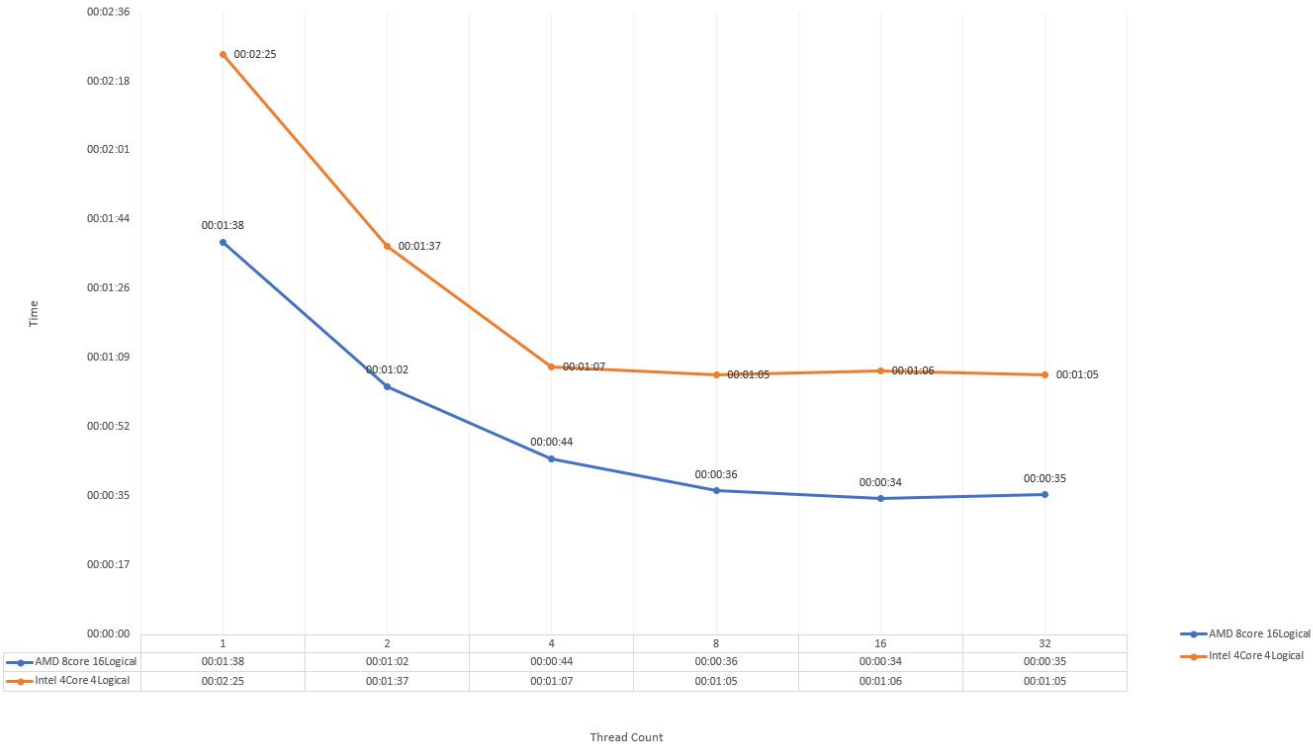
At [06:25:49.512] Timespan for 10 Rounds: **00:01:05.5579848** with 32 workers with 10000x10000 pixels

Peter PC 10000x10000 Pixel, X Threads, Messung für Berechnung von 10 Bilder:

AMD Ryzen 7 5700g 3800Mhz 8 Core(s), 16 Logical Prozessor(s)

At [11:55:52.246] Timespan for 10 Rounds: **00:01:38.9093070** with 1 workers with 10000x10000 pixels  
At [11:46:11.340] Timespan for 10 Rounds: **00:01:02.3619945** with 2 workers with 10000x10000 pixels  
At [11:47:21.110] Timespan for 10 Rounds: **00:00:44.3621281** with 4 workers with 10000x10000 pixels  
At [11:48:22.230] Timespan for 10 Rounds: **00:00:36.5939607** with 8 workers with 10000x10000 pixels  
At [11:49:18.737] Timespan for 10 Rounds: **00:00:34.8207008** with 16 workers with 10000x10000 pixels  
At [11:51:51.448] Timespan for 10 Rounds: **00:00:35.2801955** with 32 workers with 10000x10000 pixels

An diesem Diagramm wird veranschaulicht, wie schnell zwei unterschiedlich starke Prozessoren die Felder berechnet haben.



Amdahl's law

Amdahl's law besagt, dass  $T = T_s + T_p$  wobei  $s$  für die sequentielle Berechnungen und  $p$  für die Parallele Berechnungen steht. In unseren Fall dauern die sequentielle Berechnungen durchschnittlich 15.1243786 Sekunden lang (für 10 Runden). Das Berechnen von parallelen teil nimmt 21 Sekunden im anspruch.

Sequentiel Work took: 00:00:15.1243786

Paralell Work took: 00:00:21.0367204

At [08:25:08.845] Timespan for 10 Rounds: 00:00:36.1610990 with 16 workers with 10000 rows and 10000 columns

Sequentiel Work took: 00:00:16.0552797

Paralell Work took: 00:00:21.7226151

At [08:31:22.559] Timespan for 10 Rounds: 00:00:37.7788987 with 16 workers with 10000 rows and 10000 columns