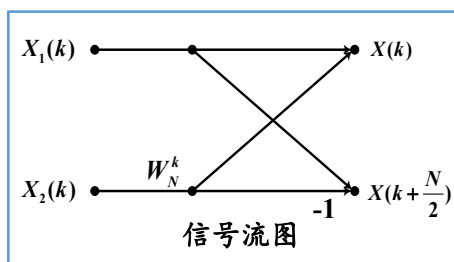




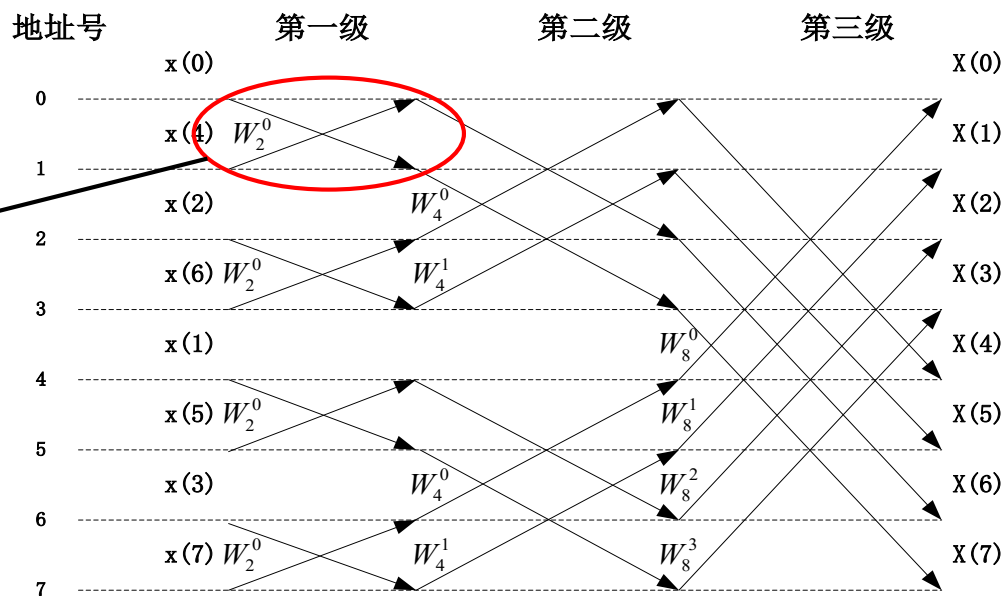
5.3 并行计算实例

设计基础：FFT运算中，蝶形计算是按照多级顺序执行，每一级中蝶形的数量是相同的，即每一级计算时延相同。

蝶形图计算



复数乘法：1次
复数加法：2次

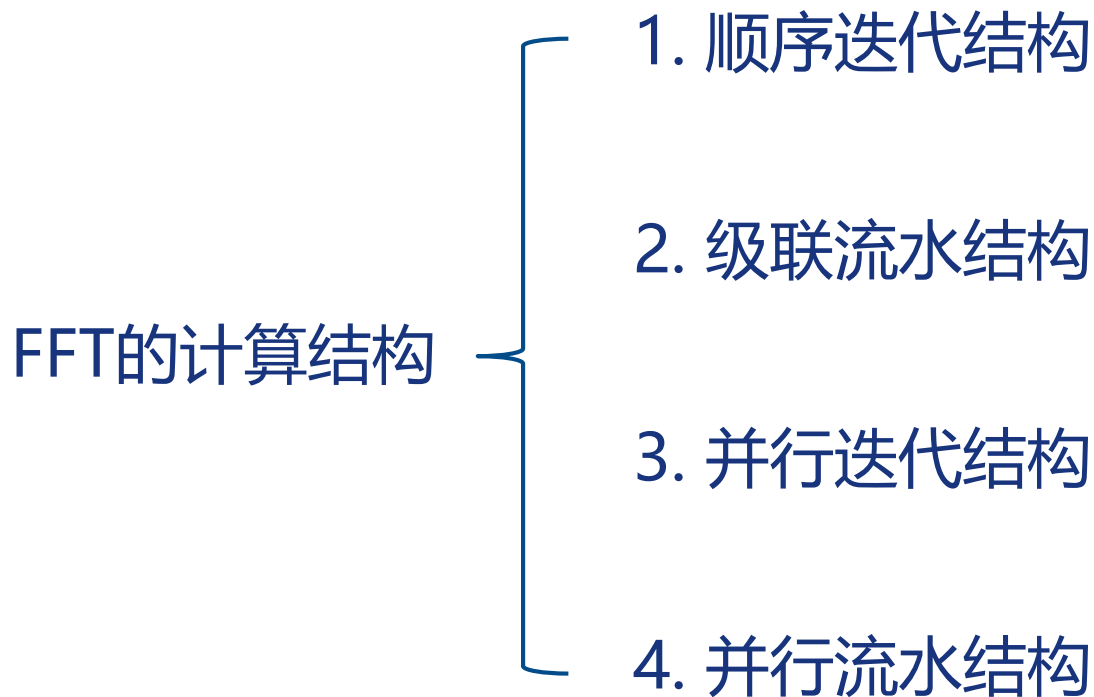


8点FFT蝶形运算流图

特点：重复计算、独立计算、分布计算



5.3 并行计算实例



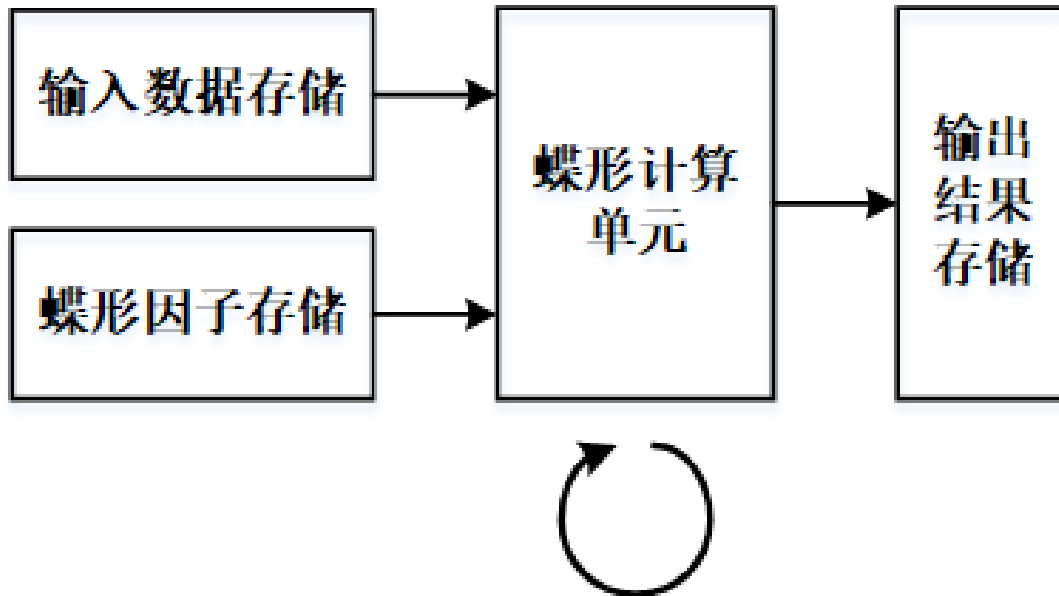


5.3 并行计算实例

1. 顺序迭代结构

设计基础：FFT由蝶形运算组成，每一个蝶形运算的基本过程相同（1次复数乘法，2次复数加法），每次计算只需要输入不同数据。

基本内涵：在FPGA中仅设计一个蝶形计算单元，连续复用此计算单元顺序的实现FFT中每一个蝶形运算。

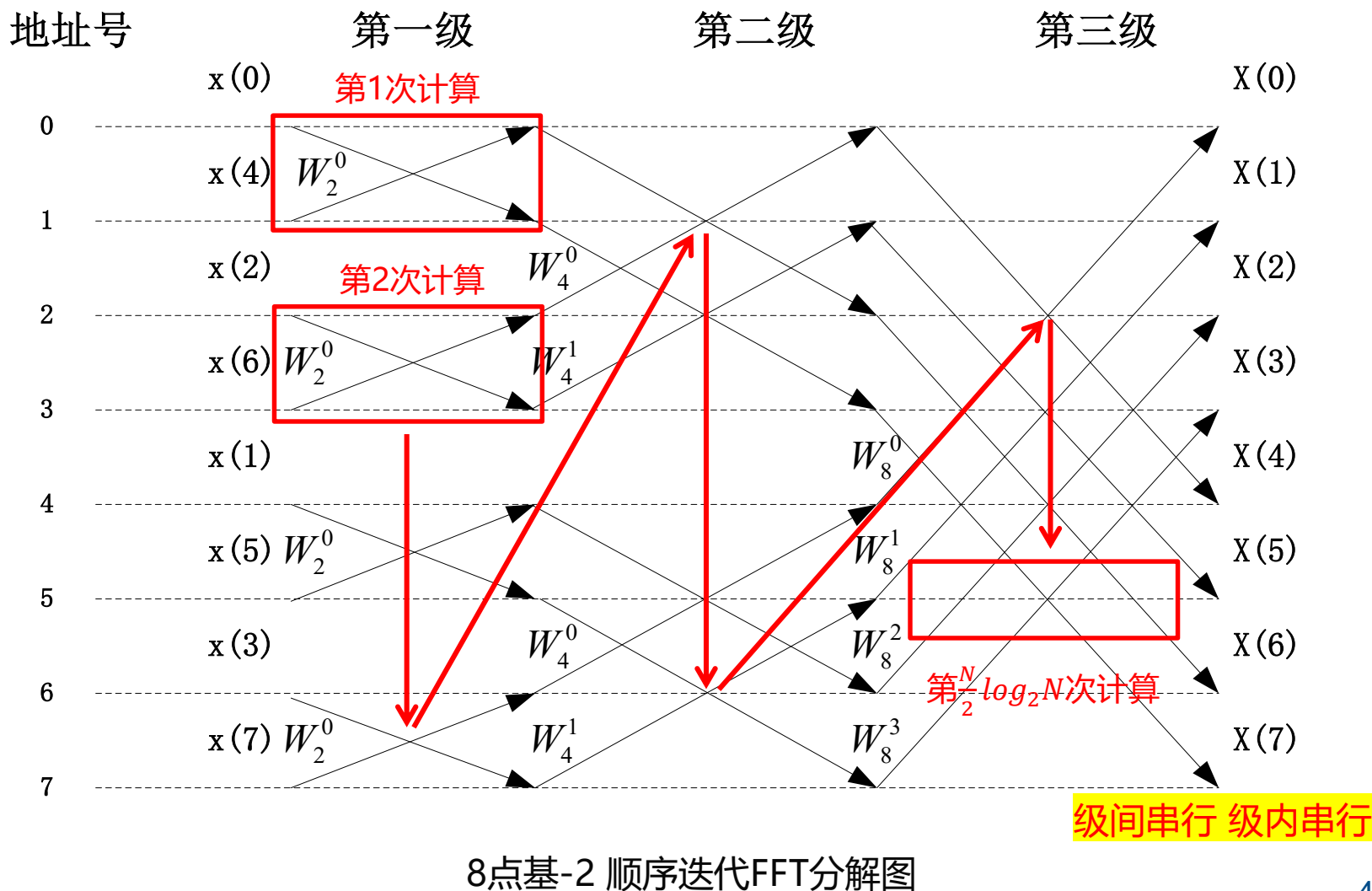


顺序迭代结构FFT结构框图



5.3 并行计算实例

1. 顺序迭代结构





5.3 并行计算实例

1. 顺序迭代结构

特点总结

- 只使用1个蝶形计算单元，占用资源量最少。
- 对于N点FFT运算中包含的 $\frac{N}{2} \log_2 N$ 次蝶形运算，采用顺序执行的方式，依次实现。
- 输入数据后得到输出FFT结果的时延为 $T \times \frac{N}{2} \log_2 N$ 。

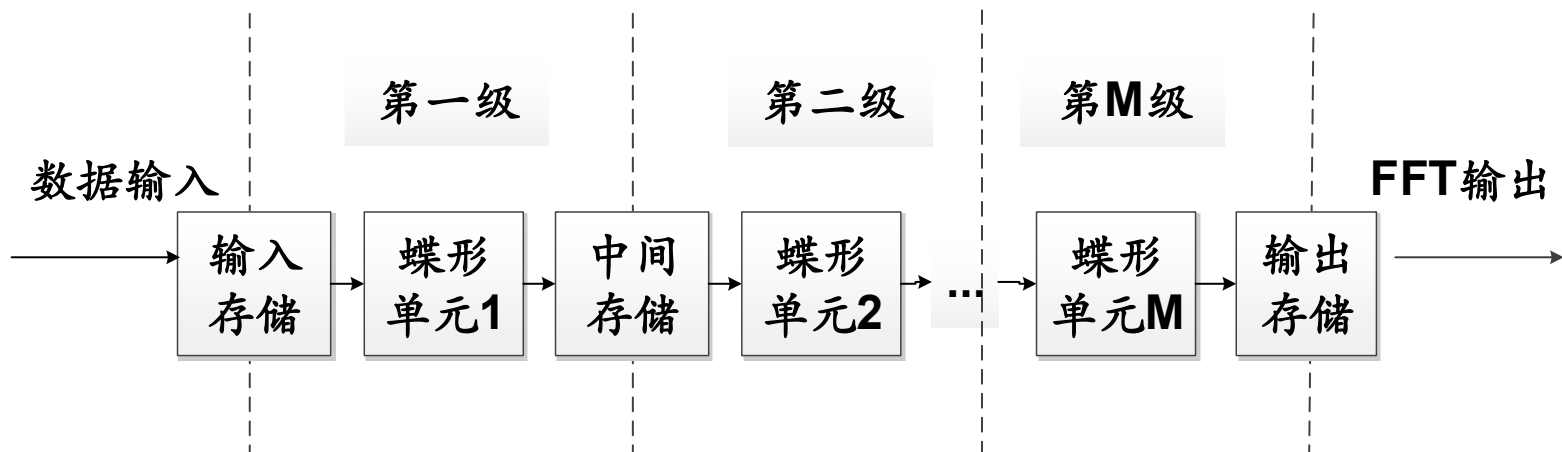


5.3 并行计算实例

2. 级联流水结构

设计基础：FFT运算中，蝶形计算是按照多级顺序执行，每一级中蝶形的数量是相同的，即每一级的计算时延相同。

基本内涵：设计蝶形计算级数相同的流水线个数，多批数据按流水线方式处理，数据在同一级蝶形的不同计算单元按顺序迭代方式执行。

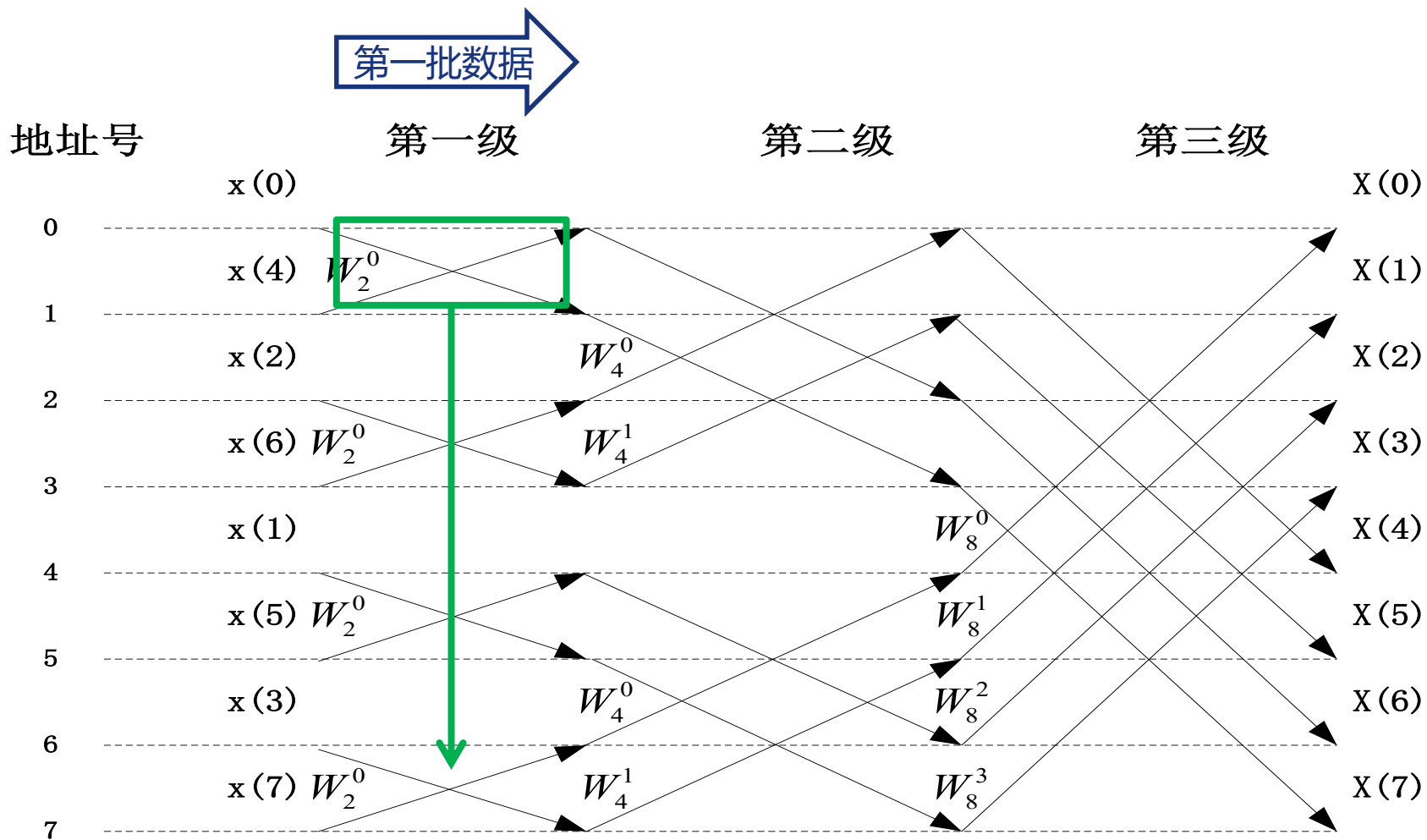


级联流水结构FFT结构框图



5.3 并行计算实例

2. 级联流水结构

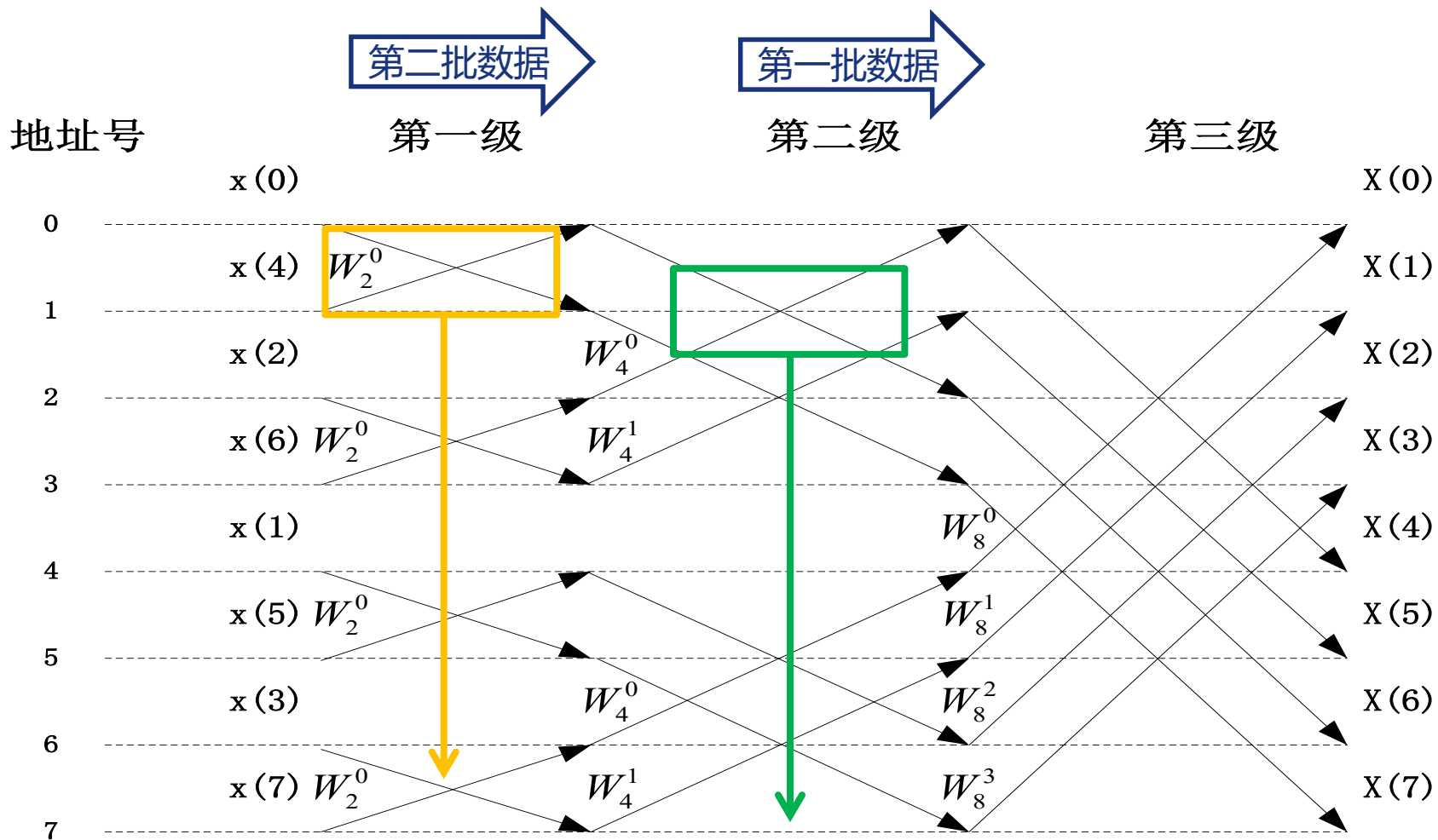


8点基-2 级联流水FFT分解图



5.3 并行计算实例

2. 级联流水结构

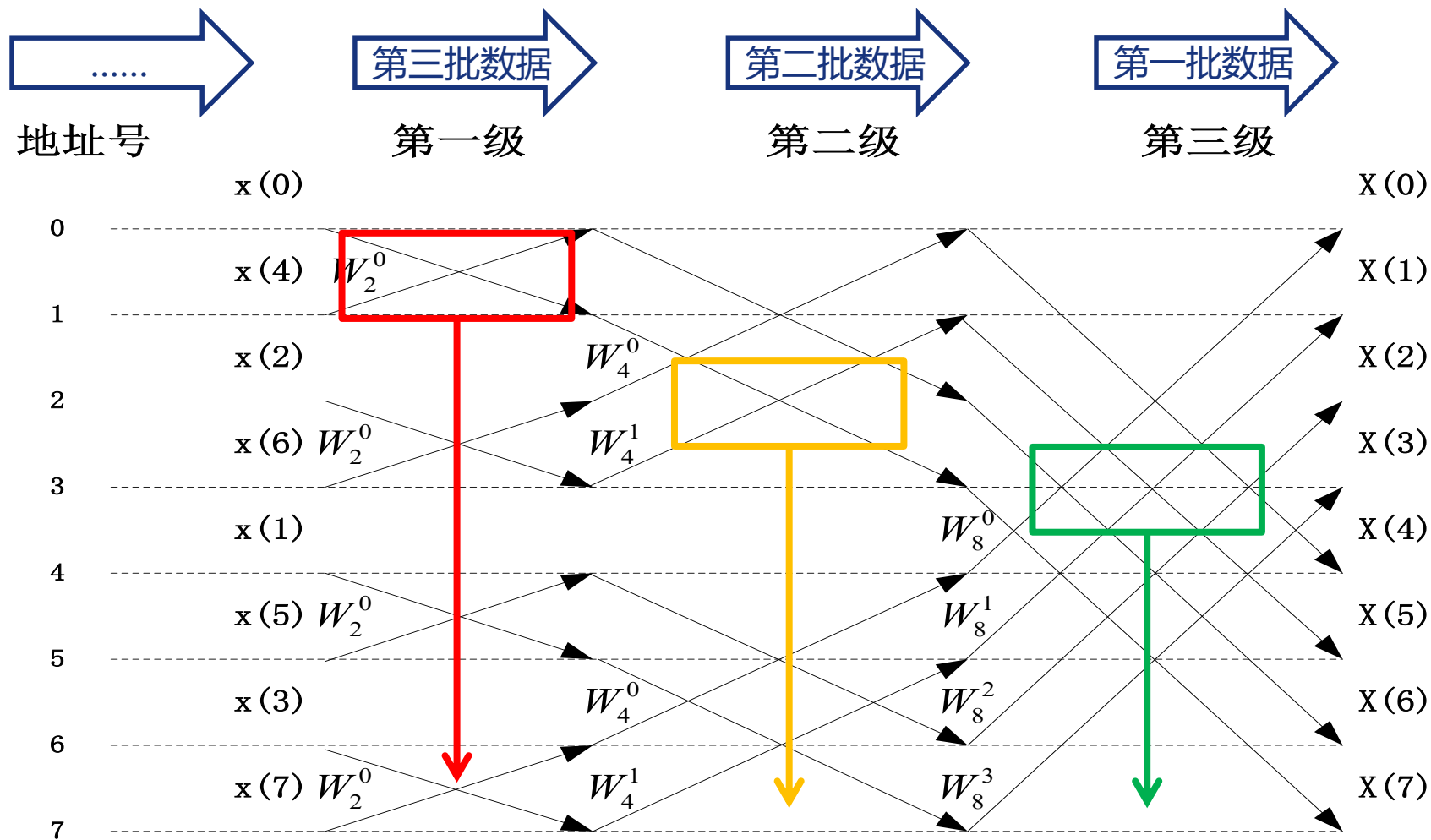


8点基-2 级联流水FFT分解图



5.3 并行计算实例

2. 级联流水结构



8点基-2 级联流水FFT分解图

级间并行, 级内串行



5.3 并行计算实例

2. 级联流水结构

特点总结

- 使用 $\log_2 N$ 个蝶形运算单元（与蝶形运算级数相等，构成 $\log_2 N$ 级流水），占用较少资源。
- 每个蝶形运算单元在每一级中顺序迭代执行 $\frac{N}{2}$ 次蝶形运算。
- 多批数据，输入数据后得到输出FFT结果的时延为 $T \times \frac{N}{2}$ 。

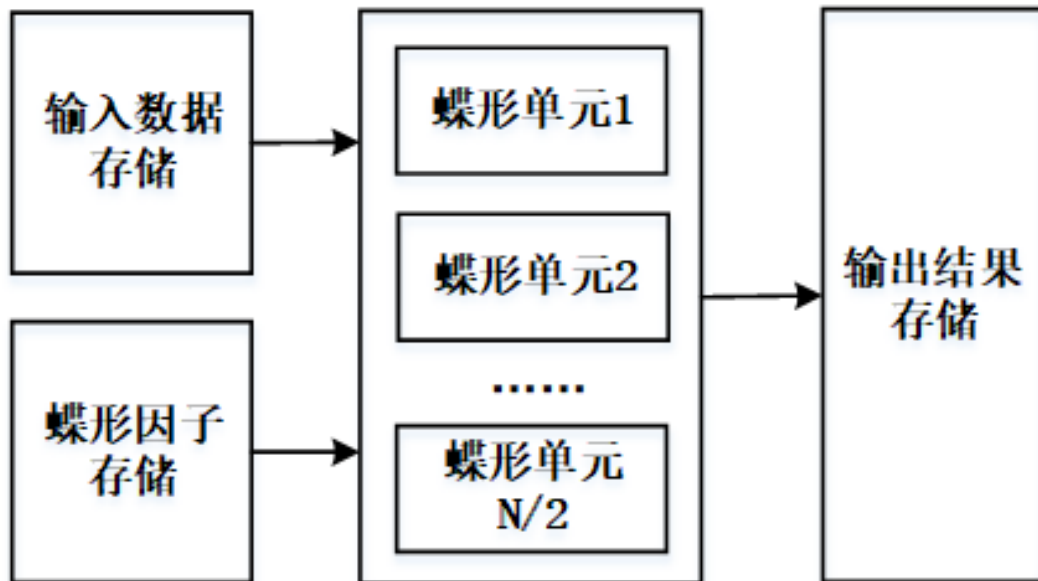


5.3 并行计算实例

3. 并行迭代结构

设计基础：FFT运算中，同一级蝶形中各个计算单元的计算过程是相同且独立的，各个计算单元不存在依赖关系。

基本内涵：FPGA中设计与同一级蝶形计算中蝶形计算相同个数的计算单元，同一级内同步并行实现所有蝶形计算，不同级间采用顺序执行。

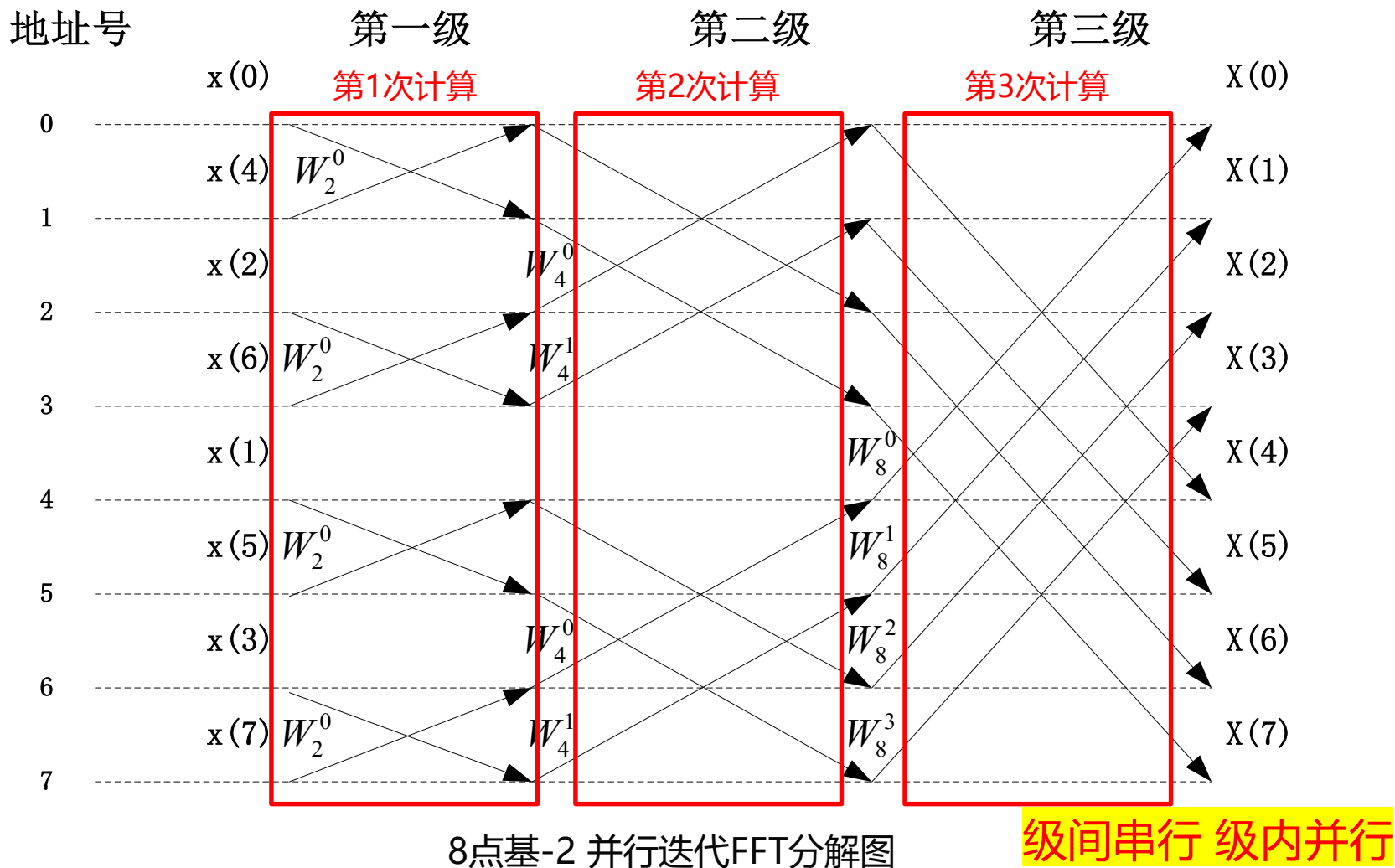


并行迭代结构FFT结构框图



5.3 并行计算实例

3. 并行迭代结构





5.3 并行计算实例

3. 并行迭代结构

特点总结

- 使用 $\frac{N}{2}$ 个蝶形运算单元（与同一级蝶形内蝶形个数相等），占用资源量较多。
- 顺序执行 $\log_2 N$ 次计算过程。
- 多批数据，输入数据后得到输出FFT结果的时延为 $T \times \log_2 N$ 。

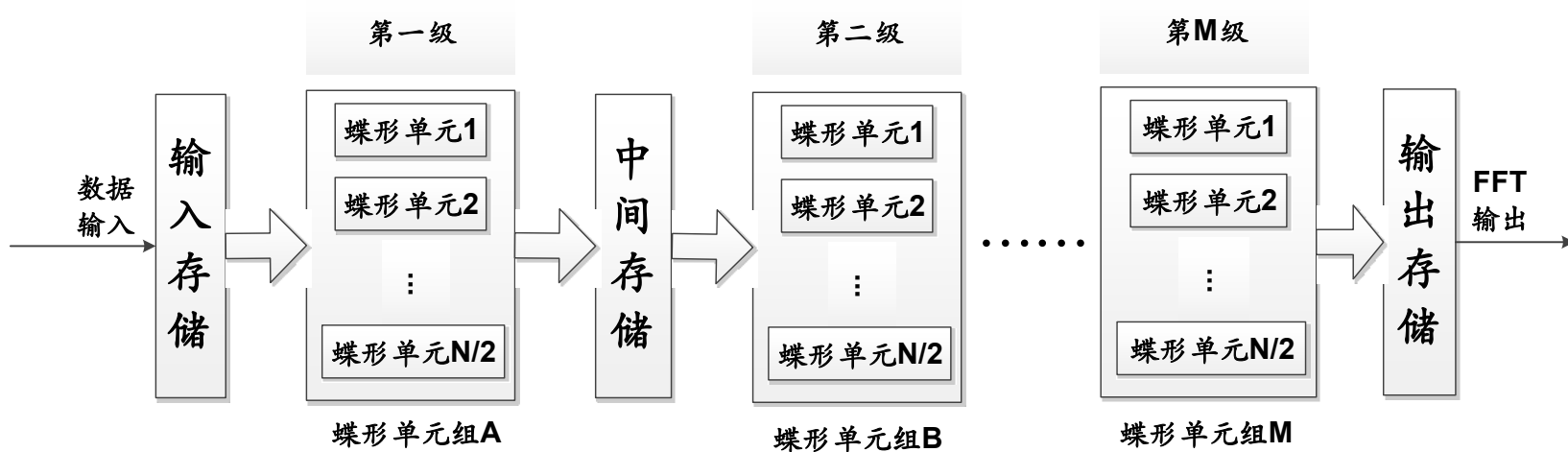


5.3 并行计算实例

4. 并行流水结构

设计基础：FFT运算中，所有蝶形运算的基本形式相同，不同级间的蝶形运算可以进行流水执行，同一级内蝶形可以并行执行。

基本内涵：FPGA中设计 $\frac{N}{2} \log_2 N$ 个蝶形计算单元，多批数据输入后，在不同级之间进行流水操作，同一级中的蝶形运算同步并行执行。

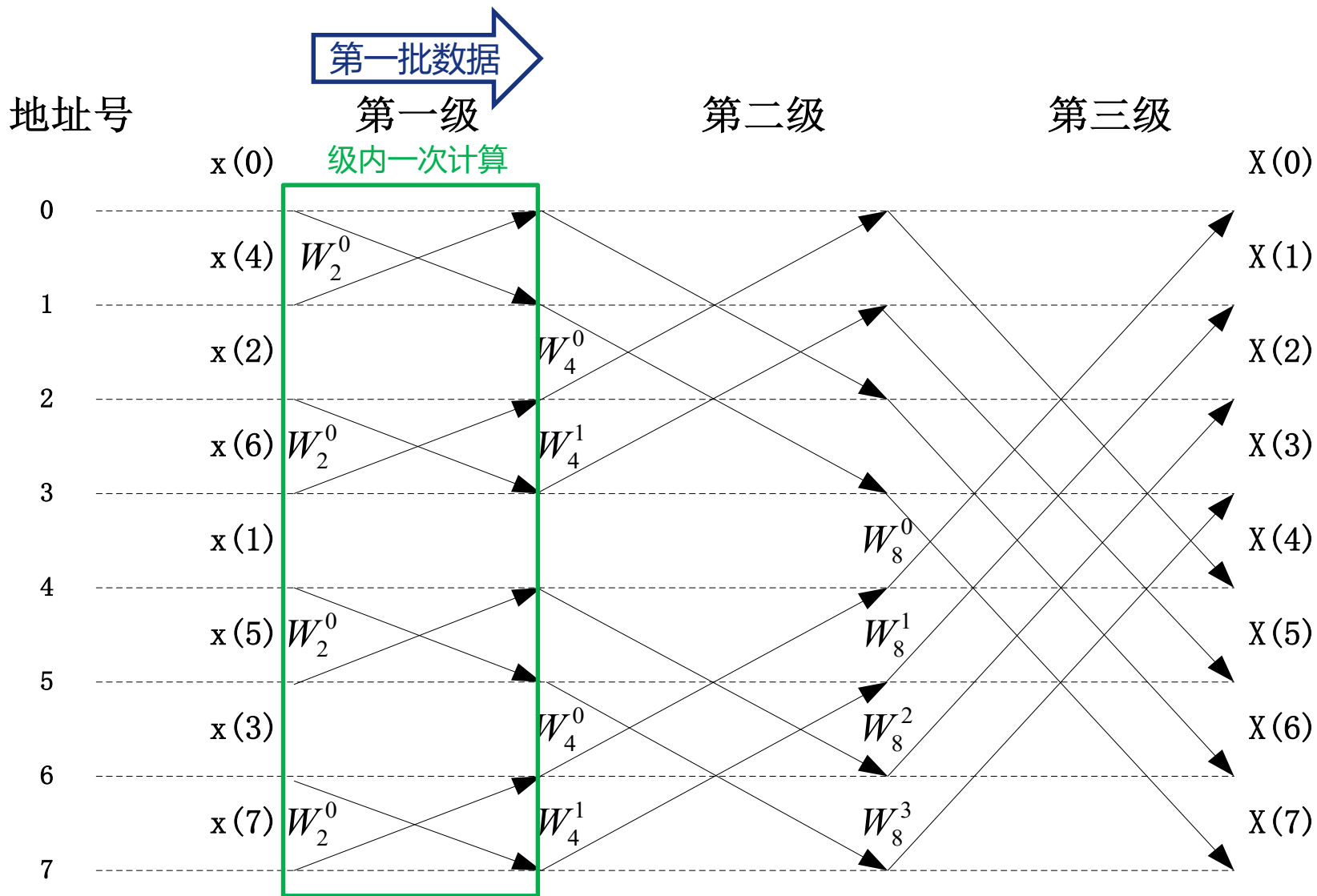


并行流水结构FFT结构框图



5.3 并行计算实例

4. 并行流水结构

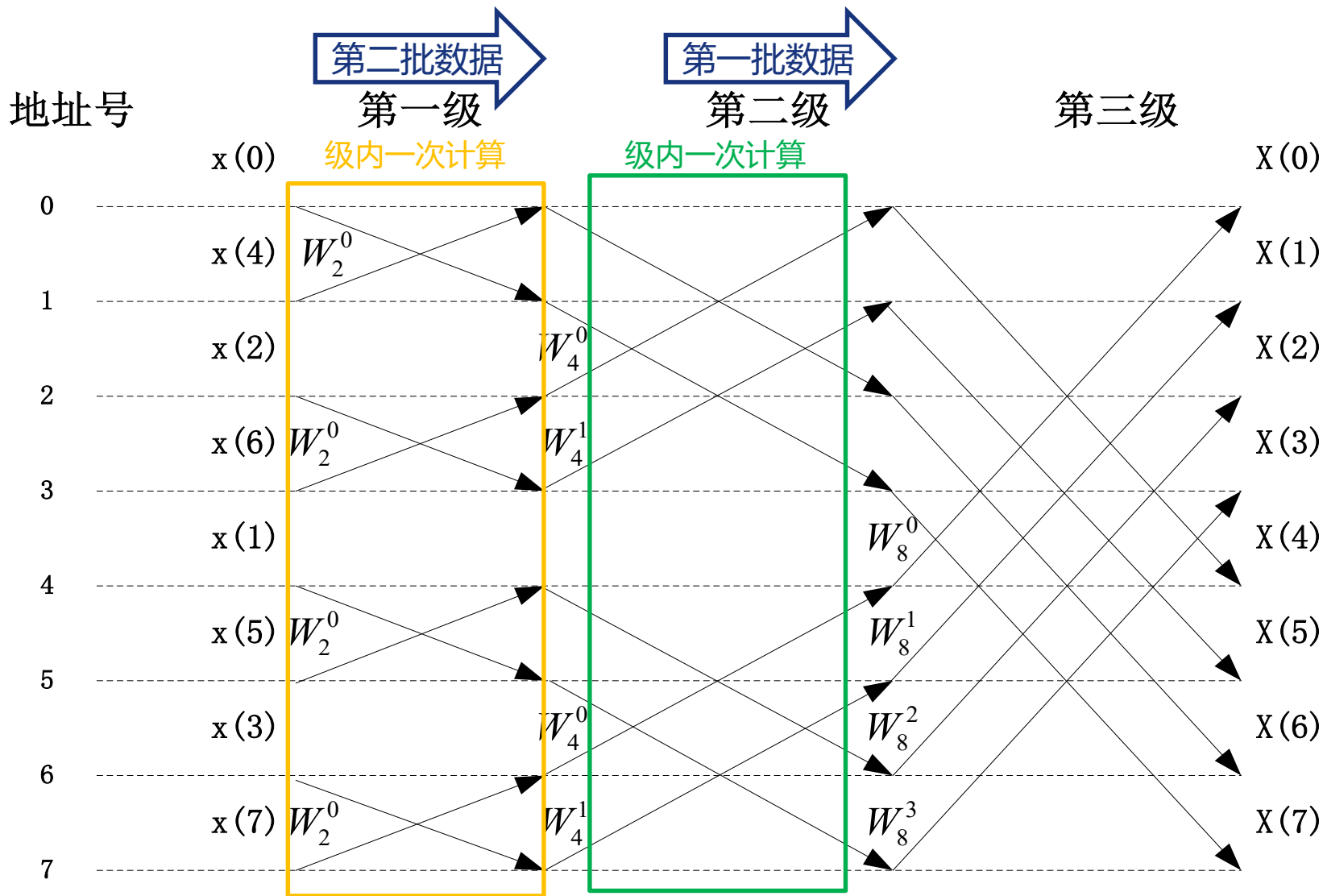


8点基-2并行流水 FFT分解图



5.3 并行计算实例

4. 并行流水结构

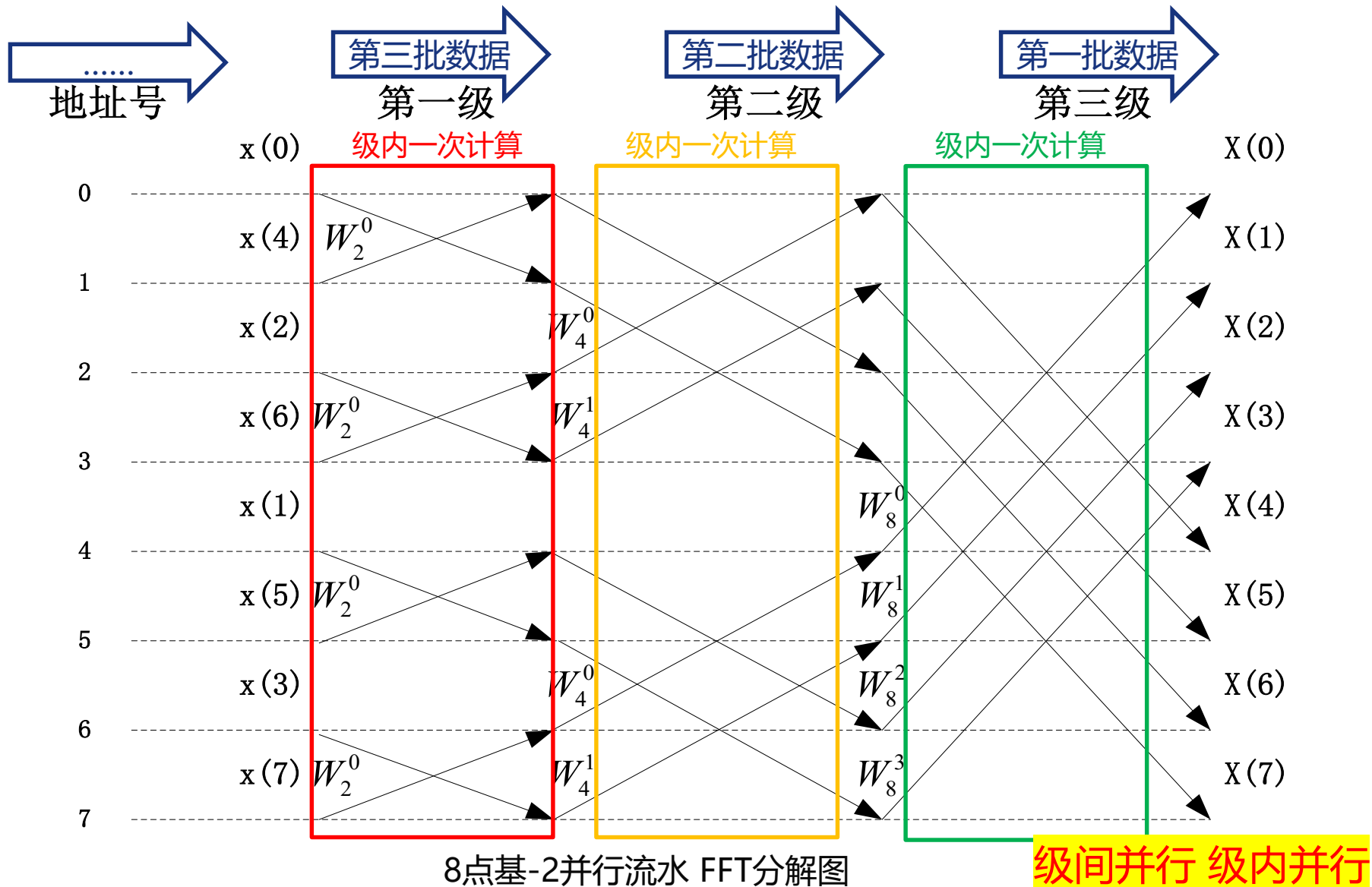


8点基-2并行流水 FFT分解图



5.3 并行计算实例

4. 并行流水结构





5.3 并行计算实例

4. 并行流水结构

特点总结

- 使用 $\frac{N}{2} \log_2 N$ 个蝶形运算单元，占用资源量最多。
- 每一次FFT同一级内执行1次蝶形运算，同时计算出全部的蝶形。
- 多批数据，输入数据后得到输出FFT结果的时延为 T 。



5.3 并行计算实例

实例总结

结构	运算时间	使用蝶形计算单元个数
顺序迭代	$T \times \frac{N}{2} \log_2 N$	1
级联流水	$T \times \frac{N}{2}$	$\log_2 N$
并行迭代	$T \times \log_2 N$	$\frac{N}{2}$
并行流水	T	$\frac{N}{2} \log_2 N$