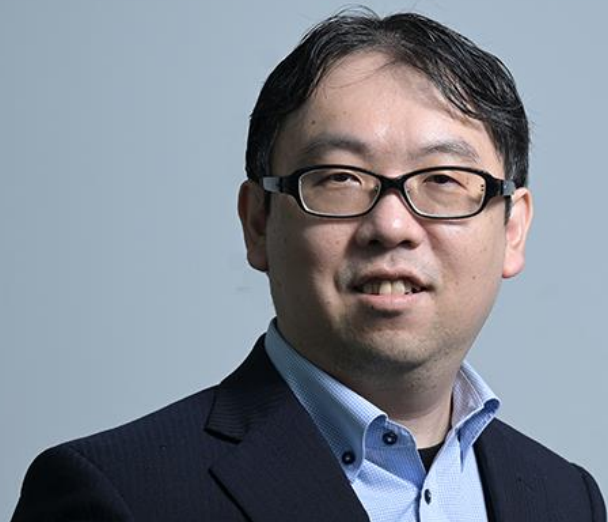


NECのAI研究用スーパーコンピューターにおける GPU性能を最大限引き出すためのOSS活用方法

2024/06/28

日本電気株式会社
グローバルイノベーション戦略統括部
深層学習基盤開発グループ 上席研究員

北野 貴稔



北野 貴稔

KITANO TAKATOSHI

https://jpn.nec.com/rd/people/takatoshi_kitano.html

- インド国民13億人が利用する世界最大の大規模生体認証システム（アドハー）を実現、政府・空港等を中心に生体認証PFを世界40か国へと展開
- 機械学習の研究テーマリーダーを経て、現在は国内企業で最大級となる「NECのAIスーパーコンピュータ」の企画・設計・開発・運用を主導
- 担当の技術レイヤは全て。NECのAIスパコンの開発責任者として、HWの選定・調達から計算機基盤・SW基盤等のアーキ設計・開発・運用の全てを担当

NECの国内最大級のAI研究用スーパーコンピュータの概要

AI研究における計算能力の重要性を予期し、2020年にAIスパコンを企画。
2023年3月にA100を928GPU搭載した国内最大級のAIスパコンを全面稼働開始

現在の利用状況

利用する
ユーザー

利用する
研究者数

AIスパコンの
利用率

NECの研究者 数百名 100%

AIスパコン(A100が928基)

開始時期

GPUの演算能力

2023年3月 100⇒580 (PFLOPS)

NECの生成AI研究を大幅強化！

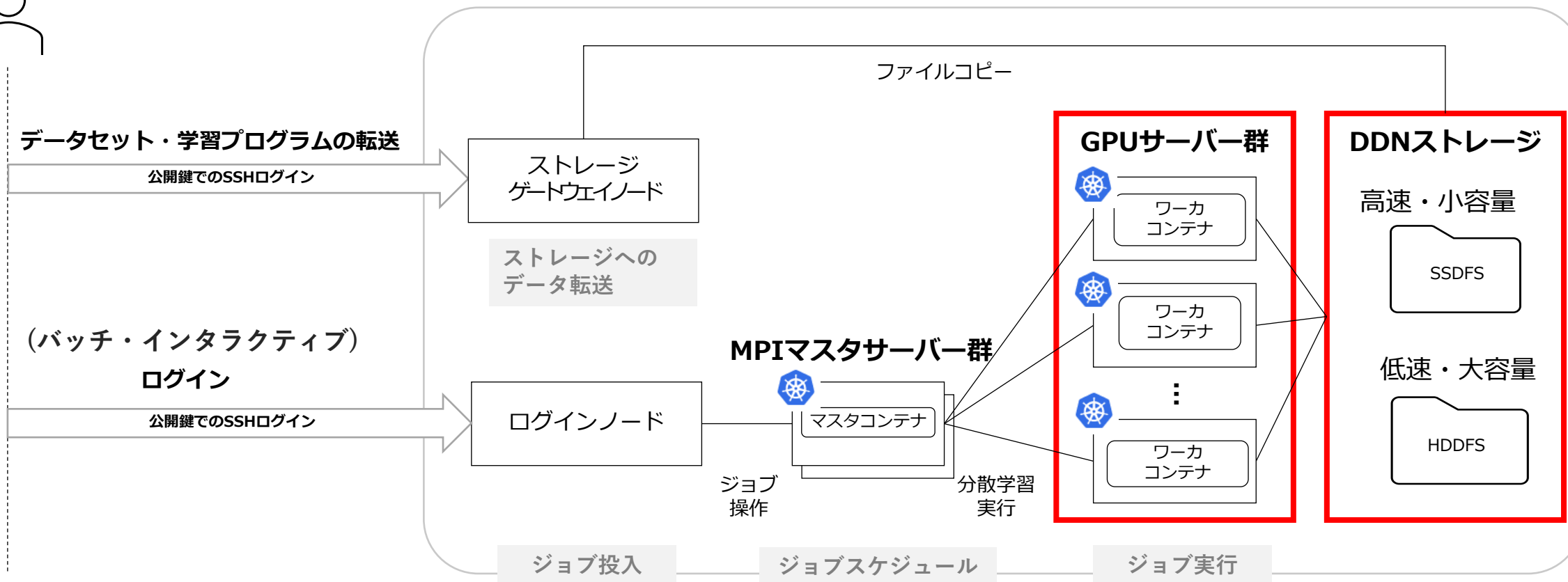


NECのAI研究用スーパーコンピュータの構成の概要

Kubernetesを中核に据えたOSSをフル活用したGPUクラスタ。全GPUサーバーはLustreをマウント、Lustre上に配置されたデータセットを928GPUで分散学習可能。

AI研究者

NECのAIスーパーコンピュータの構成概要



AIスパコンでGPU性能を引き出すための主要なポイント

GPUサーバー-ストレージサーバー間・GPUサーバー内・サーバー間のボトルネックをなくし、GPUに十分にデータを供給し、GPUの演算性能を活かすと共に多数GPUのスケーリング効率を高めて、GPU性能を引き出す

(1) GPUサーバー - ストレージ間

データ供給のボトルネックをなくし計算できるように

(3-1) データ転送効率を向上

(3-2) ストレージからの通信時間を隠蔽

(2) GPUサーバー内

演算性能を活かすためノード内ボトルネックをなくす

(1-1) GPUメモリ帯域ネックの低減

(1-2) ノード内GPU間通信を速く

(3) GPUサーバー間

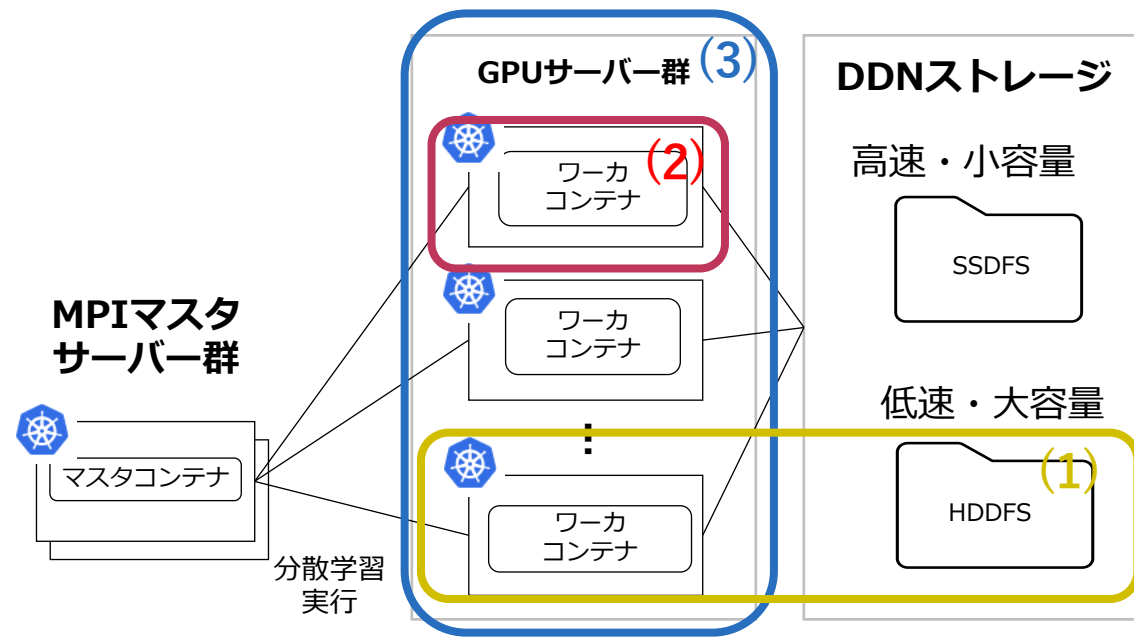
通信オーバーヘッドを低減しスケーリング効率を向上

(2-1) GPU間通信を速く

(2-2) 計算時間を増やし、通信の影響を小さく

(2-3) 通信と計算をオーバーラップし通信を隠蔽

AIスパコンでGPU性能を活かすためのポイント



(1-1) WebDataset等でI/Oを固め、データ転送効率を向上

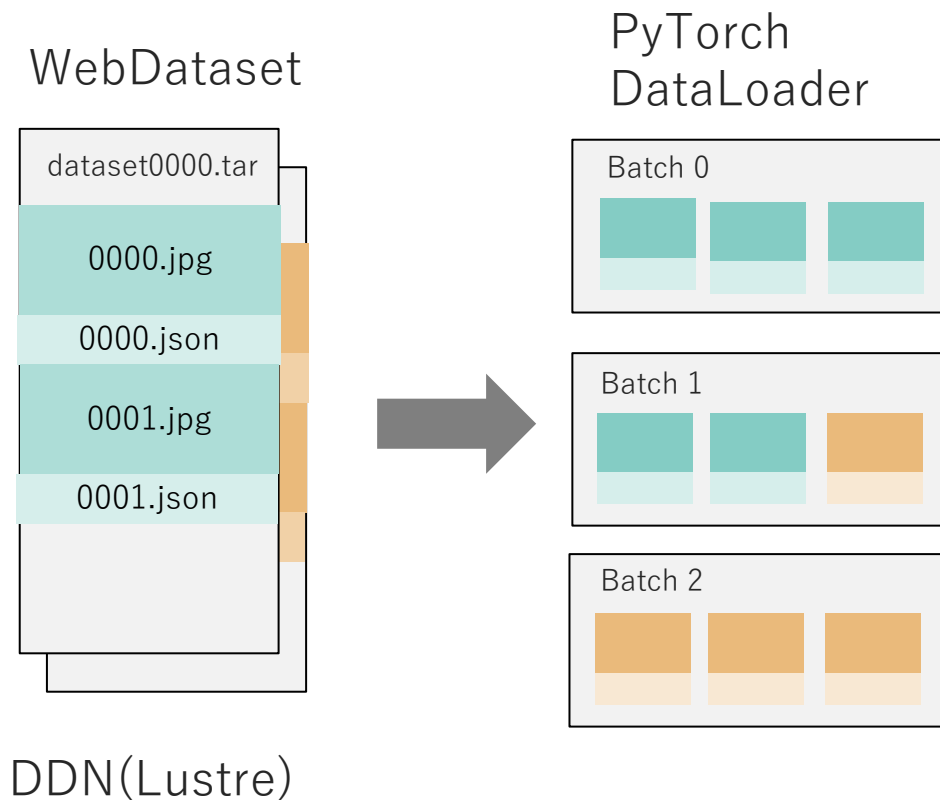
WebDatasetで複数のファイルをtar等で固めることで、分散ファイルシステムのメタデータアクセスのIOPSを低減すると共に、ランダムリードをシーケンシャルリードに変えてデータ転送効率を向上

◆ WebDataset/TFRecordを使う理由

- ✓ 分散ファイルシステムで必要なメタデータのIOPSを低くし、MDSをボトルネックにせずに
- ✓ 深層学習ではデータへのランダムI/Oが中心に
⇒ ランダムReadをシーケンシャルのReadに変えて、データの転送の効率をあげる。

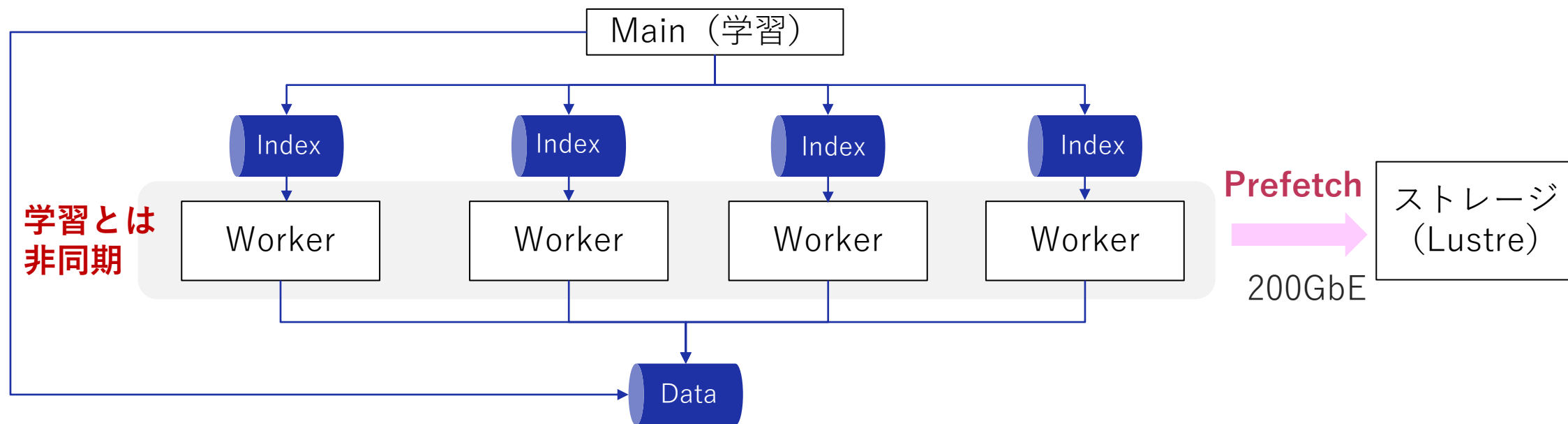
◆ ファイルシステムにそのまま置かれることも

- ✓ 研究者の利便性は下がるのでDNE1/DNE2などでファイルシステム側で気合で頑張ることも…



(1-2) データのPrefetchを行いストレージへの通信時間を隠蔽

PyTorch/TensorFlowなどほぼ全ての深層学習FWはデータのPrefetchをサポート。
Prefetchすることでストレージの通信時間を隠蔽、学習に時間を使えるようにする。



PyTorchのDataLoaderの構造

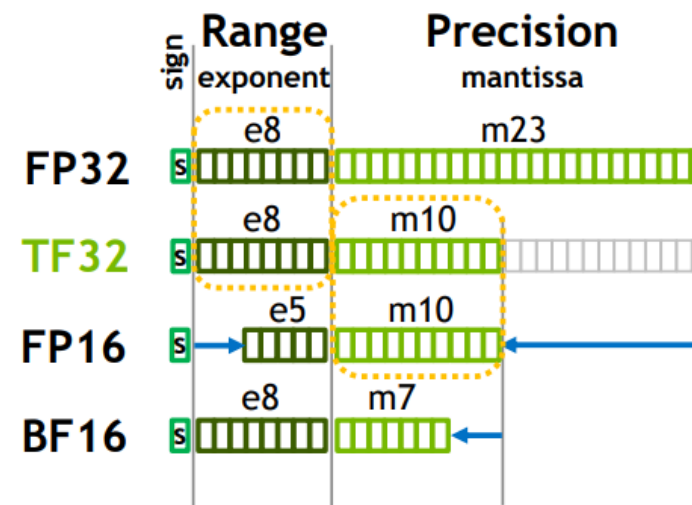
(2-1) 精度維持が可能でメモリ使用量を低減できるPrecisionを利用、メモリ帯域のボトルネックを緩和

深層学習では基本的にメモリ律速。PyTorch等の深層学習FWで、TF32/BF16 または Mixed Precisionを使うことにより、メモリ帯域のボトルネックを緩和し高速化。



HBM2e:GPUメモリ帯域2.039TB/sec

多くのAIの学習はメモリ律速
GPUメモリ帯域幅はAIの学習速度向上に重要

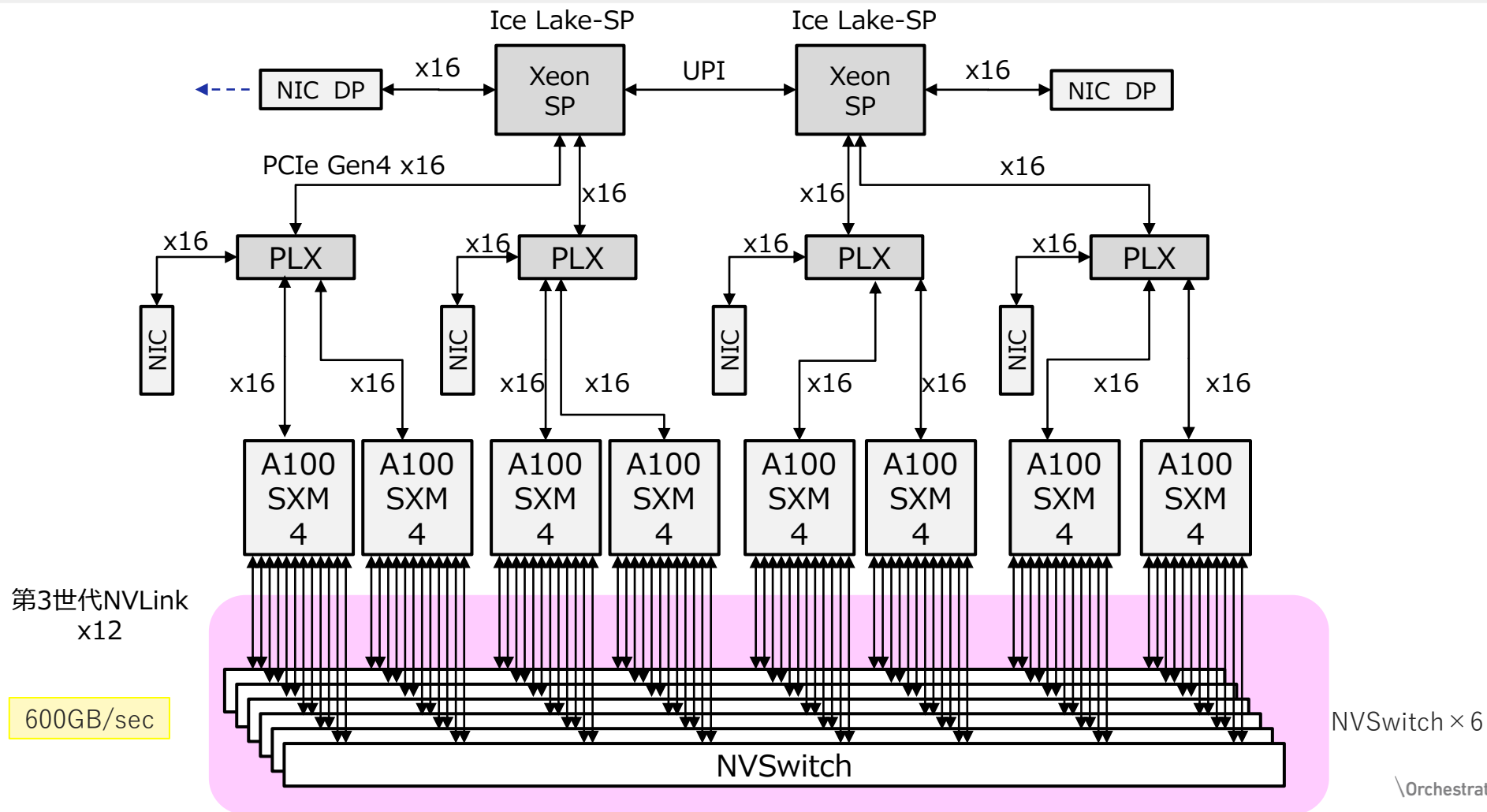


出展:NVIDIAホワイトペーパー

- TF32はRangeはFP32と同じで、PrecisionはFP16
- **TF32/BF16は精度は落ちづらいが、メモリ帯域幅のボトルネックが緩和！**

(2-2) ノード内でNVLinkを使うようにNCCLを設定

PCIスイッチ経由ではなく、NVLinkを使うように、ノード内構成に合わせてNCCLの環境変数を正しく設定する。GPU間を速いパスを使うことが重要。



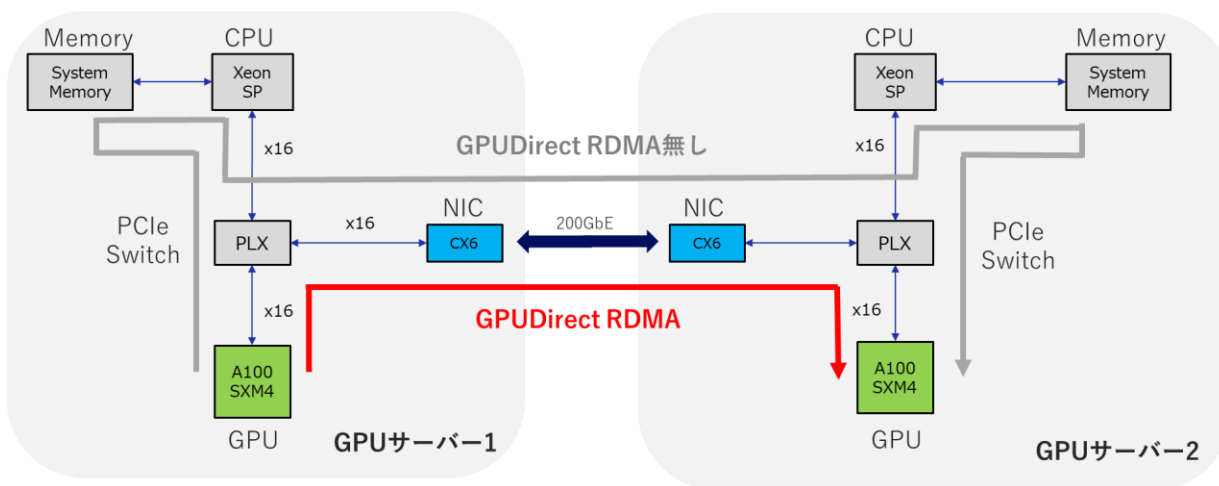
(3-1) NCCLでGPUDirect RDMAを利用して低レイテンシー化、分散学習効率を向上

深層学習FWは、NCCLを使ってサーバー間で通信。NCCLがGPUDirect RDMAを用いるように設定することで低レイテンシーにし、計算に占める通信時間の割合を小さくすることで分散学習効率を向上

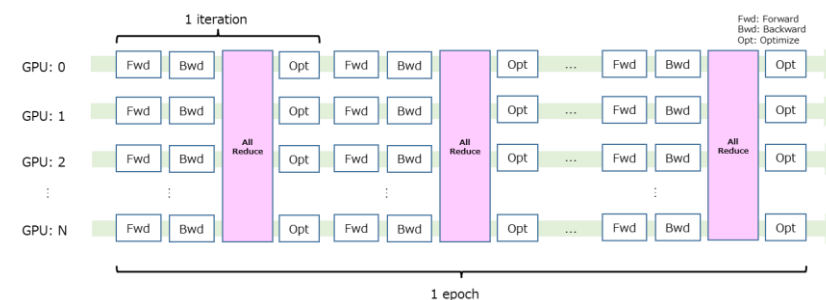
GPUDirectRDMAで
ノード間の通信を低レイテンシーに



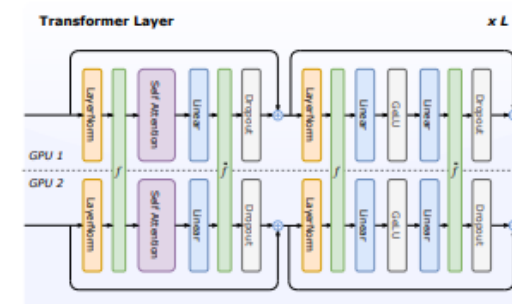
AllReduce等の通信時間を短くし
分散学習効率を向上



Ex) 分散学習での勾配の集約・平均での通信



Ex) Transformer Layerでのテンソル並列での通信



(3-2) バッチサイズを大きくすることで、大規模GPUでのGPU利用率を向上

- GPU数に比例してバッチサイズを増加させ、GPUの仕事量を一定にし、大規模GPUを活用
- 通信時間が計算時間に対して十分に小さくなるようバッチサイズを増加し、GPU利用効率を向上

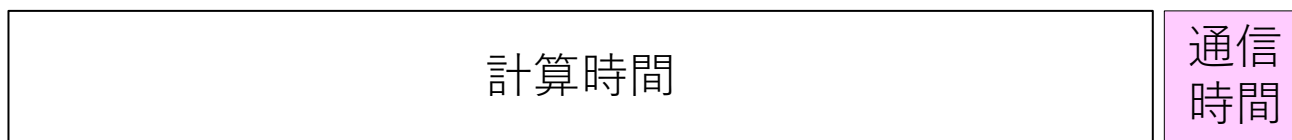
- ◆ GPU数に比例してGPUのバッチサイズ大きくすることで、GPUが増えてもGPUの仕事量を一定にし、大規模GPUを活用する

Ex) GPU数 1、Batch Size: 16



GPU数 1024、Batch Size: 16 * 1024

- ◆ バッチサイズを大きくしすぎると、汎化性能が落ちたり、収束しづらくなったりする。精度・バッチサイズ・ハイパラの調整は、実験結果をよく見て。
- ◆ GPUの計算時間が通信時間より十分小さくなるようにすることで、通信時間の影響を最小化することで、GPUの利用効率を高める



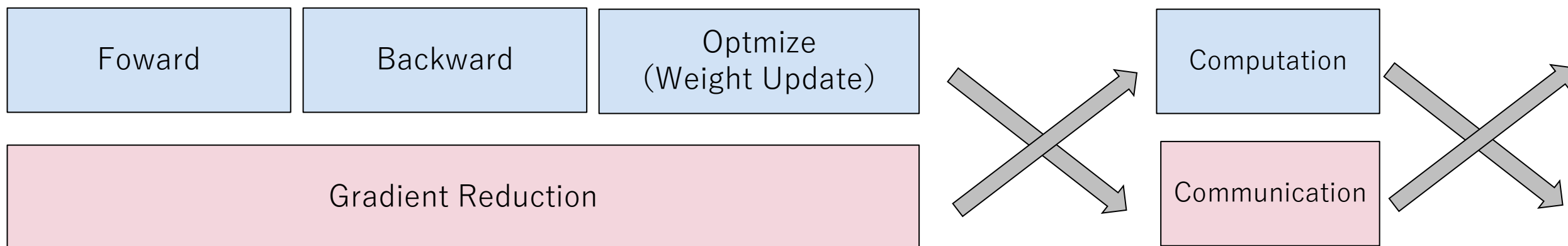
× N

(3-3) 通信と計算のオーバーラップで通信時間を隠蔽し、常時計算を可能に

通信と計算のオーバーラップは、Double Bufferingなど様々な手法が存在。これにより、学習でGPUを使えるようにすることが重要。ただ、オーバーラップによるデバッグの難易度上昇には注意。

Ex) Double Buffering

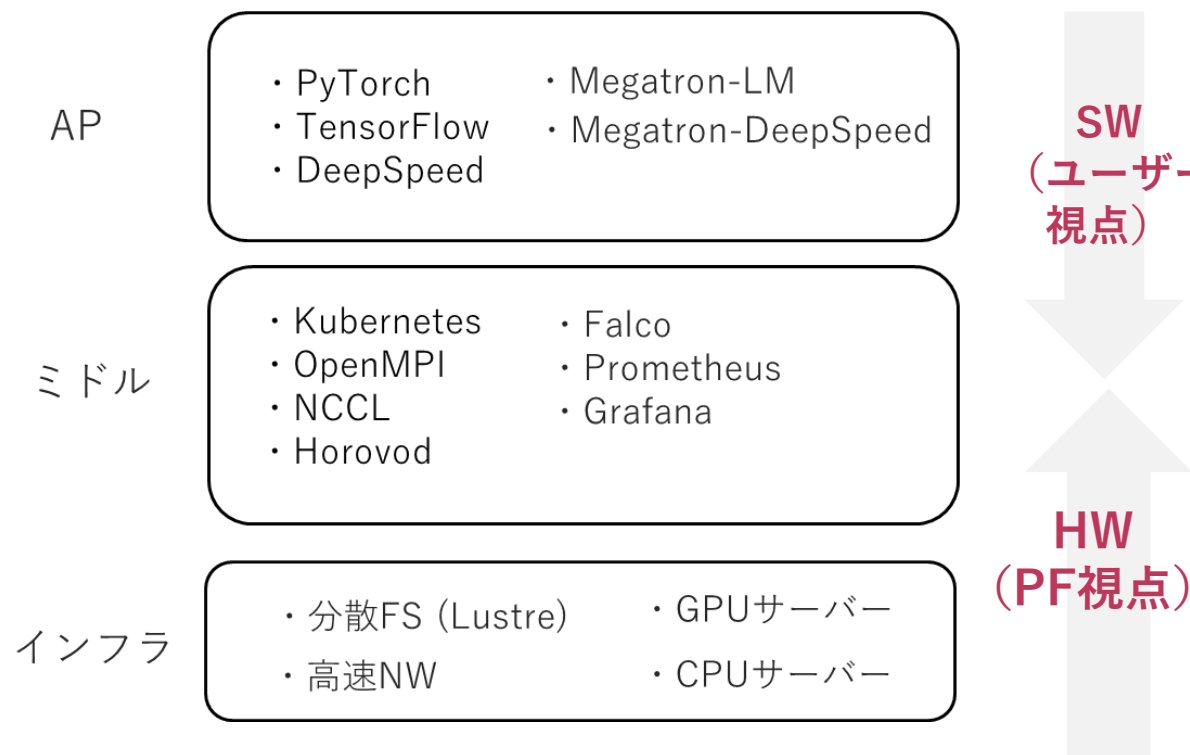
Forward/Backwardのパスを勾配の集約とをオーバーラップし、前イテレーションの結果を使って、勾配の集約の通信時間を隠蔽



まとめ - GPUのパフォーマンスエンジニアリングは先端の総合格闘技

AIスパコンは、先端のHW/SWの総合格闘技であり、HWからSWを見る + SWからHWを見るというPF視点とユーザー視点の両方の視点が、分散学習のパフォーマンスエンジニアリングには必須。

- ✓ AIスパコンは、GPUサーバー、高速ネットワーク、分散ファイルシステムから構成され、システム上のボトルネックが至る所に存在
- ✓ ハードウェアの性能をソフトウェアが越えることはなく、ソフトウェアがハードウェア（NWも含めて）どう使うかを、よく意識する必要がある
- ✓ システムの全体構成に基づいて、各部分でのHW上のボトルネックを認識して、PyTorchやNCCL等の技術変化の速いSW群を追いかけて活用する



NECのAIスパコンに関する社外発表情報

NECのAIスパコンに関する技術的内容や開発の狙いなどの情報を発信しています
ご興味ある方は、是非ご覧になってください。



招待講演記事など

https://jpn.nec.com/rd/people/takatoshi_kitano.html

NEC北野によるAIスパコン開発の狙い、技術的特徴等のインタビュー記事など



社会価値を創造するNECのAIスーパーコンピュータ

<https://jpn.nec.com/rd/aisupercomputer/index.html>

NECのAI研究用スーパーコンピュータの技術スペック等を解説



NVIDIA/DDNのイベントの基調講演（技術説明）

<https://www.youtube.com/watch?v=DmXRlae1Q8k>

NEC北野によるAIスパコンのアーキテクチャの解説

\Orchestrating a brighter world

NEC