TOSHIBA

第2回量子アニーリング及び関連技術に関する研究会
2024/02/20 15:50～16:25

シミュレーテッド分岐マシンのリアルタイムシステムへの応用 -金融・車載の事例-

辰村光介

株式会社 東芝
研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所
コンピュータ＆ネットワークシステムラボラトリー

© 2024 Toshiba Corporation

Contents

シミュレーテッド分岐マシンのリアルタイムシステムへの応用 -金融・車載の事例-

はじめに

01 量子インスパイアード最適化技術をリアルタイムシステムへ応用する

02 シミュレーテッド分岐マシン(SBM)の理論と実装、性能

03 SBMのリアルタイムシステムへの応用：金融と車載の事例

© 2024 Toshiba Corporation

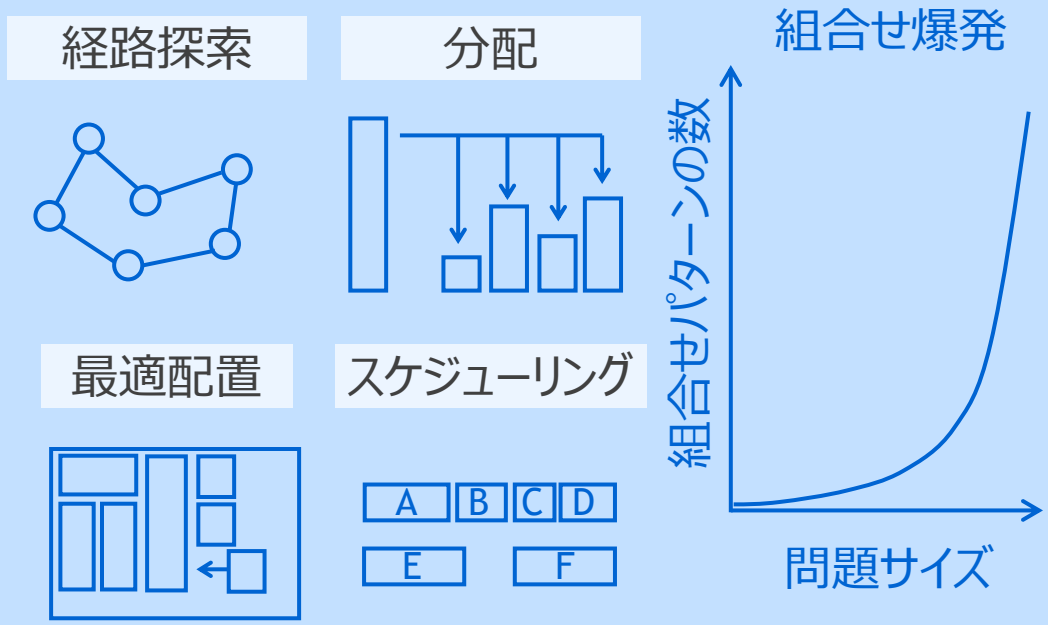
組合せ最適化問題とは

経済的に重要，しかし，計算するのが困難

社会課題

意思決定、計画、など

組合せ最適化問題



計算機科学的な計算困難問題(NP困難)

組合せ最適化問題を解く ＝ その状況において最も合理的な判断を下すこと

© 2024 Toshiba Corporation

#1 Andrew Lucas, "Ising formulations of many NP problems", *Frontiers in Physics* **2**, 5 (2014)

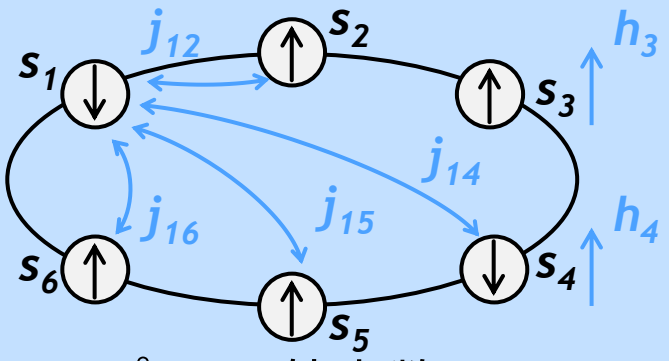
イジングマシン

組合せ最適化(二次離散最適化)問題の高速求解のための特定目的計算機

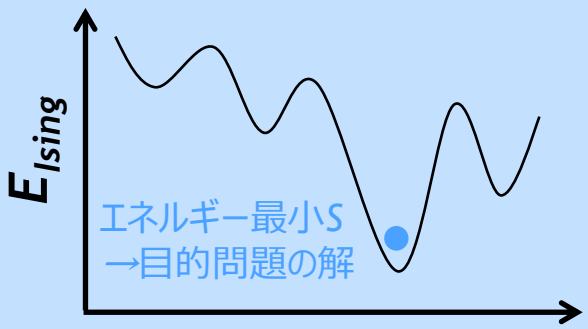
イジング問題

イジングモデルの最小エネルギー状態を探索する

$$E = -\sum j_{ij} s_i s_j + \sum h_i s_i$$



スピン: 二値変数



スピン配置, **S**

マッピング#1

組合せ最適化(二次離散最適化)

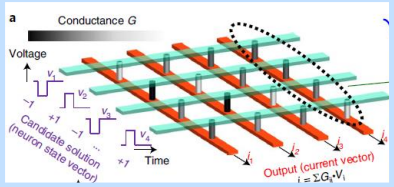
イジングマシン

Quantum annealer*1 (2011)

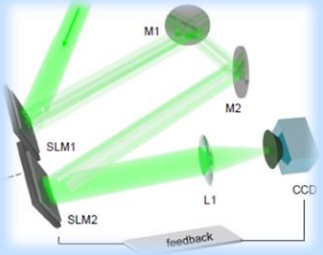
CMOS annealer*2

Digital annealer*3

Memristor HNN*6



Optical Ising machines*4,5



and more …

+ Simulated bifurcation machine (2019)

*1 https://www.dwavesys.com/d-wave-two-system
*2 https://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2019/02/0219.html
*3 https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2018/0515-01.html
*4 https://www.ntt.co.jp/news2017/1711e/171120a.html
*5 D. Pierangeli, et al., Phys. Rev. Lett. **122**, 213902 (2019).
*6 F. Cai, et al., Nature Electronics **3**, 409 (2020).

© 2024 Toshiba Corporation

量子インスパイアード最適化計算機

*1 H. Goto *et al.*, *Sci. Adv.* **5**, eaav2372, '19
*2 H. Goto *et al.*, *Sci. Adv.* **7**, eabe7953, '21
*3 K. Tatsumura *et al.*, *Nat. Ele.* **4**, 208–217, '21

シミュレーテッド分岐マシン (Simulated Bifurcation Machine, SBM)

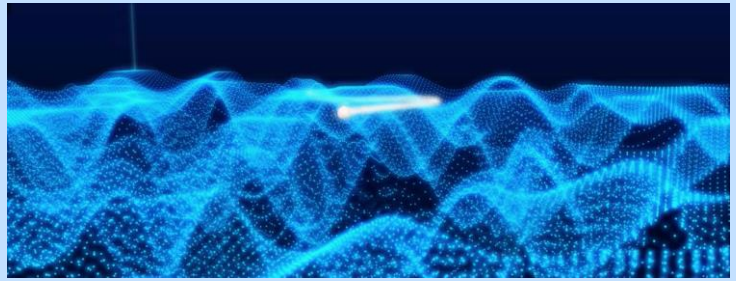
アルゴリズム

量子インスパイアード

量子分岐マシン
(量子原理)

発見

シミュレーテッド分岐アルゴリズム
(新しい解探索原理)

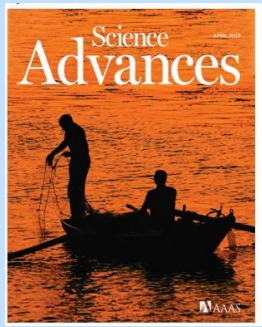


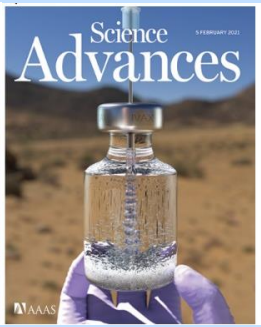
高い並列化可能性
Highly parallelizable

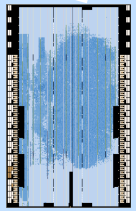
計算機実装

高速な求解性能*1,2

シングルチップ

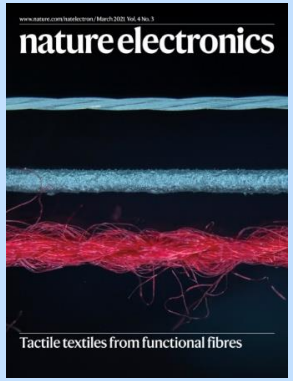






高い拡張性*3

マルチチップ



応用

高い実用性

エッジ/組込み

クラウド

革新性

本講演のフォーカス

ex. リアルタイムシステム

© 2024 Toshiba Corporation

*1 辰村ら, “シミュレーテッド分岐マシンによって合理的な判断を行うリアルタイムシステム,” 東芝レビュー 77巻6号、2022年11月

組込みSBM技術(Embeddable SBM)

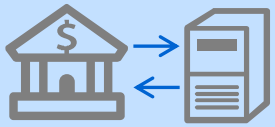
従来困難だった、より合理的な判断をするリアルタイムシステムを実現

解空間の制約条件に加えて、時間軸上に明確な制約条件がある

リアルタイムシステム

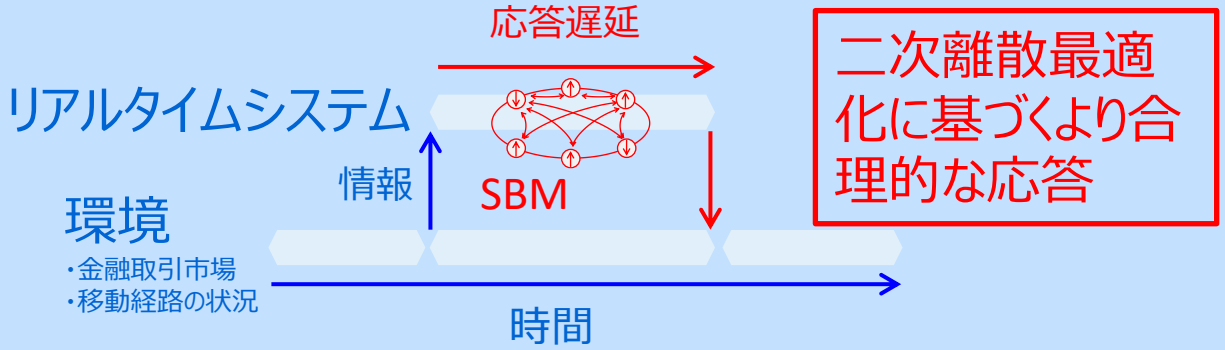
- 時間的制約のあるシステム：決められた時間までに応答しなければならない
- “高速”リアルタイムシステム：応答時間は典型的にミリ秒程度以下
- 厳しい時間制約のため、単純な条件判定に基づき応答するものが多い

金融トレーディング



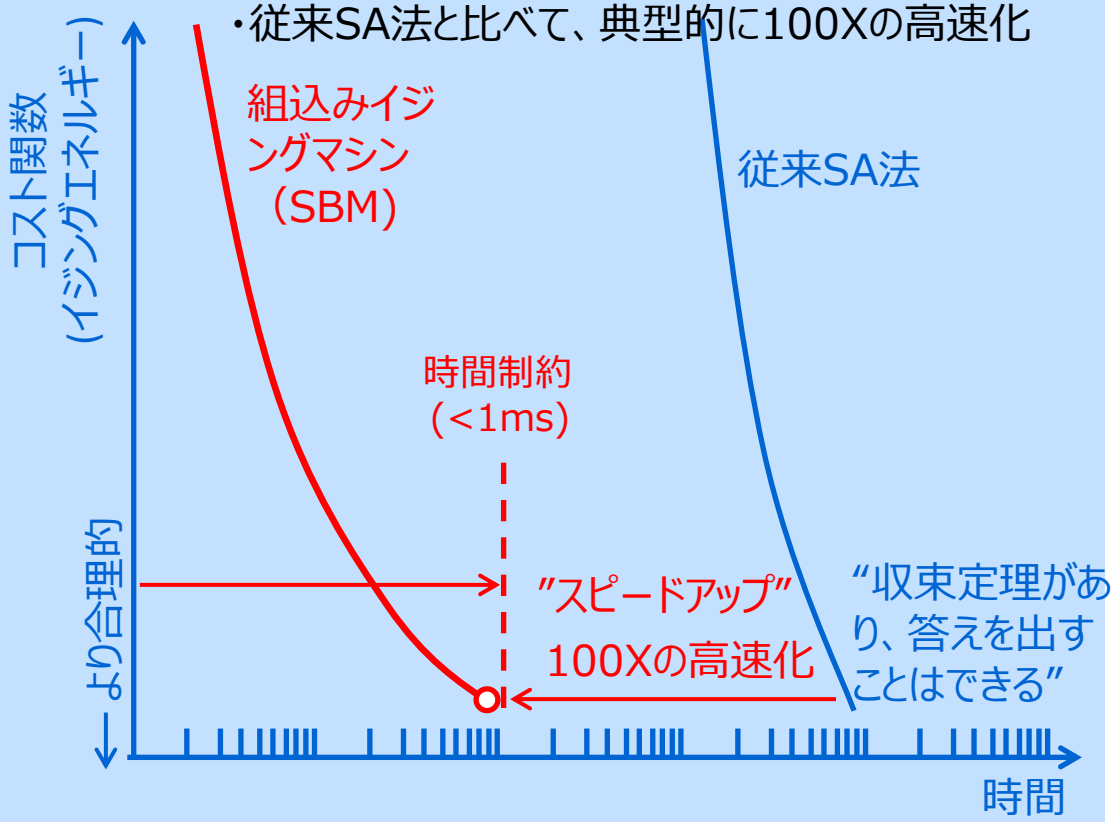
モビリティ
（自律制御）

リアルタイムシステム+組込みSBM



組込みイジングマシン(SBM)

- システムに組込み可能
→ミリ秒級のシステムワイド遅延を可能に
- 従来SA法と比べて、典型的に100Xの高速化



© 2024 Toshiba Corporation

Contents

シミュレーテッド分岐マシンのリアルタイムシステムへの応用
-金融・車載の事例-

はじめに

01 量子インスパイアード最適化技術をリアルタイムシステムへ応用する

02 シミュレーテッド分岐マシン(SBM)の理論と実装、性能

03 SBMのリアルタイムシステムへの応用：金融と車載の事例

© 2024 Toshiba Corporation

*1 Toshiba Clip 2019年8月号, “量子コンピューター研究から生まれた 組合せ最適化の新解法”
*2 H. Goto et al., Scientific Reports **6**, 21686 (2016)
*3 H. Goto et al., Science Advances **5**, eaav2372 (2019)

量子分岐マシンの古典対応物からシミュレーテッド分岐マシンは誕生*1

量子分岐マシン(2016)*2

非線形振動子ネットワークの断熱分岐過程を記述するハミルトニアン

$$H_q(t) = \hbar\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{K}{2}a_i^{\dagger 2}a_i^2 - \frac{p(t)}{2}\left(a_i^{\dagger 2}+a_i^2\right) + \Delta_i a_i^\dagger a_i\right] - \hbar\xi_0\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}J_{i,j}a_i^\dagger a_j$$

状態変数の古典化

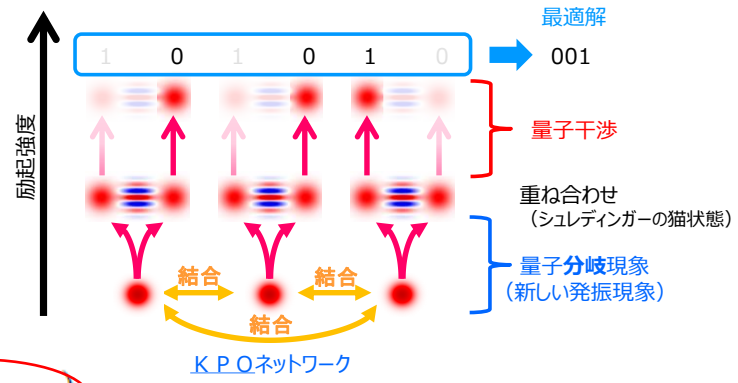
古典分岐マシン(2016)*2

$$H_c(\mathbf{x},\mathbf{y},t) = \sum_{i=1}^{N}\left[\frac{K}{4}\left(x_i^2+y_i^2\right)^2 - \frac{p(t)}{2}\left(x_i^2-y_i^2\right) + \frac{\Delta_i}{2}\left(x_i^2+y_i^2\right)\right] - \frac{\xi_0}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}J_{i,j}\left(x_ix_j+y_iy_j\right)$$

高速化のためのアルゴリズム改良

シミュレーテッド分岐マシン(2019)*3

原理：量子断熱定理
(量子でしか成り立たない定理)



そもそも、量子でしか成り立たない定理で動く量子分岐マシンを古典化して、どうして機能するのだろうか？
→そこには新しい発見があった

© 2024 Toshiba Corporation

*1 H. Goto et al., Science Advances **5**, eaav2372 (2019)
*2 H. Goto et al., Science Advances **7**, eabe7953 (2021)
*3 T. Kanao et al., Comm. Phys. **5**, 153 (2022)
*4 T. Kanao et al., Applied Physics Express **16**, 014501(2023)

SBの解探索原理*1

新しい古典的メカニズム：断熱探索とエルゴート探索

エネルギーランドスケープの動的な変化

単一・自明な最小点

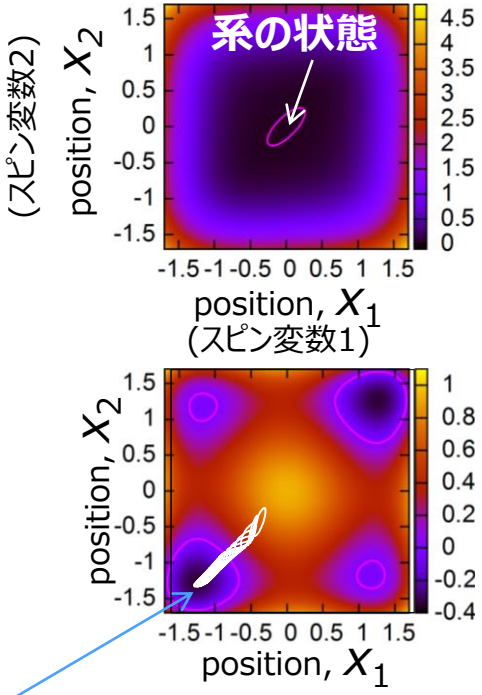
↓

分岐
(断熱過程)

↓

多数の極小点が現れる
(コスト関数の関数曲面)

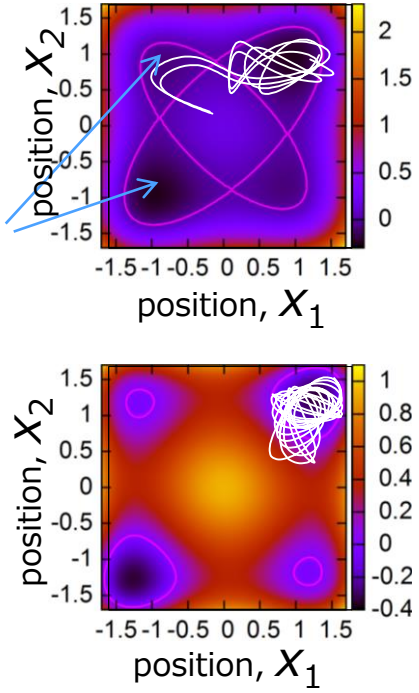
エネルギーランドスケープ(N_{spin}=2)



最良解
(-1,-1)

断熱探索
1つの極小点を追いかける

エネルギー的に許される領域に複数の極小点



エルゴート探索
より良い極小点をより高い確率で

量子断熱定理に対応する古典断熱定理(多体系）の存在が示唆されるが、その数学的厳密証明は未だなされていない。
シミュレーテッド分岐アルゴリズムの理論拡張（第２世代*2、熱揺らぎアシスト法*3、高次コスト関数化*4、など）が続く。

© 2024 Toshiba Corporation

*1 長距離二体間力で相互作用するN体粒子系の時間発展シミュレーション。重力相互作用する天体系や、クーロン相互作用する分子系など。

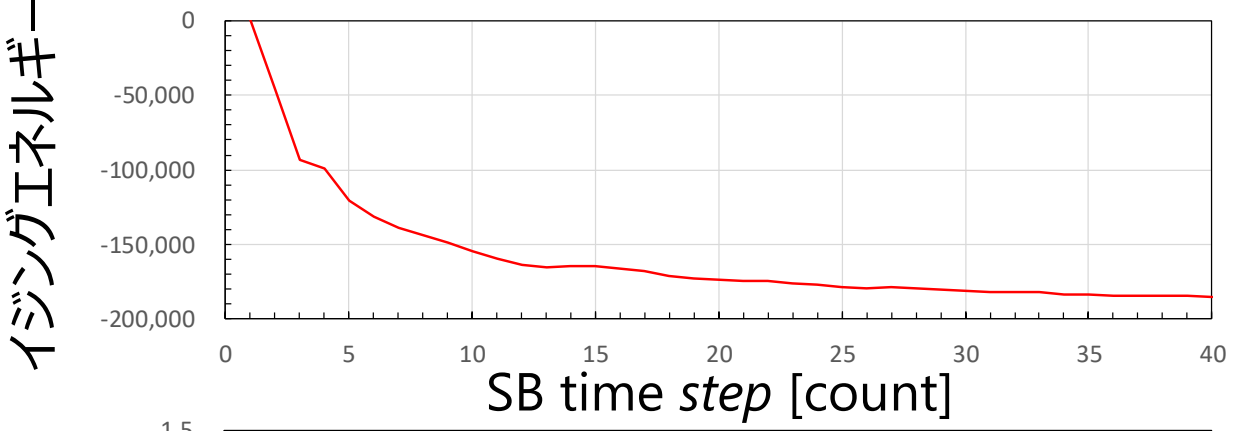
SBアルゴリズムとその構造

“N-body”型のアルゴリズム構造*1 → 高い並列化可能性

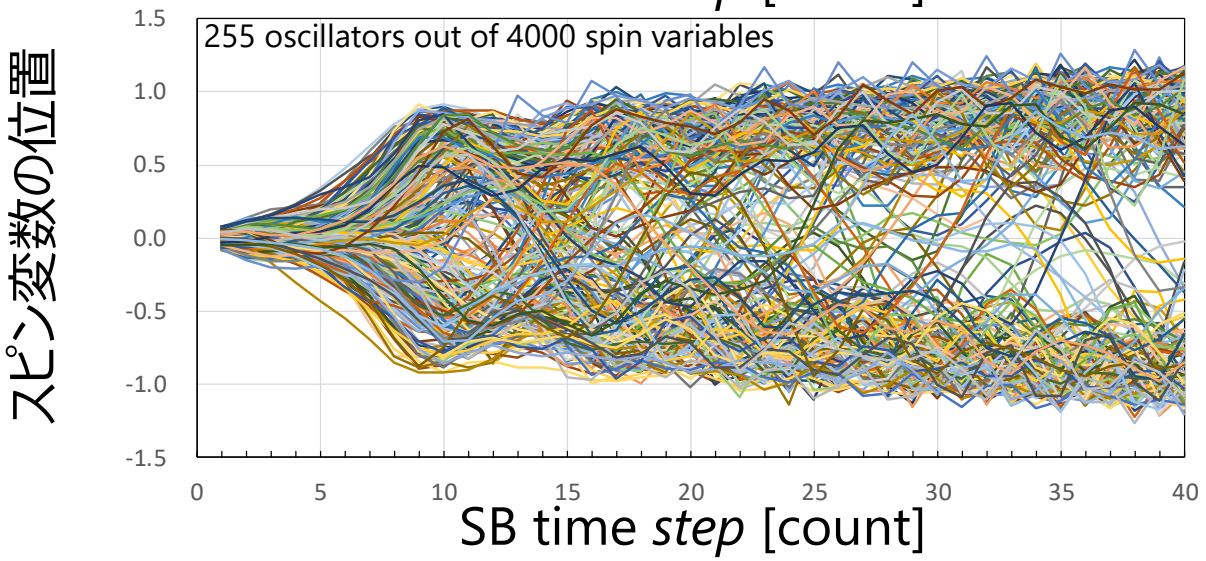
Highly parallelizable

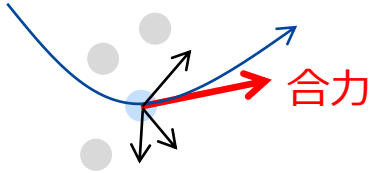
SAよりも並列性が高い

Example: N_{spin}=4000



より良い解





１つの粒子(スピン変数)の多体相互作用は、他のすべての粒子に依存

多体相互作計算

$$\Delta p_i = \sum j_{ij} x_i$$

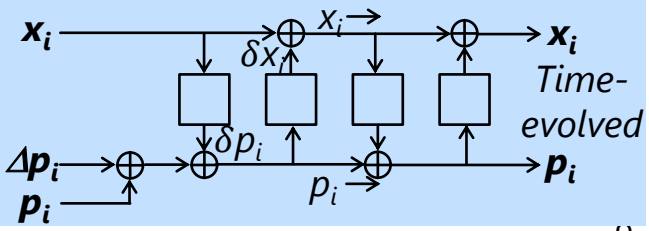
行列-ベクトル積(MM)

$$\begin{bmatrix} \Delta p_1 \\ \Delta p_2 \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} & \square & \square & \square & \square \\ j_{21} & j_{22} & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{bmatrix}$$

時間発展計算(TE)

$$(x_i, p_i) \leftarrow \mathrm{TE}(x_i, p_i, \Delta p_i)$$

TEパイプライン



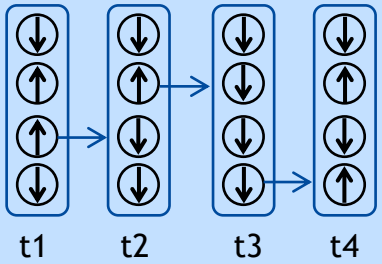
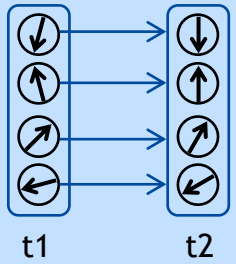
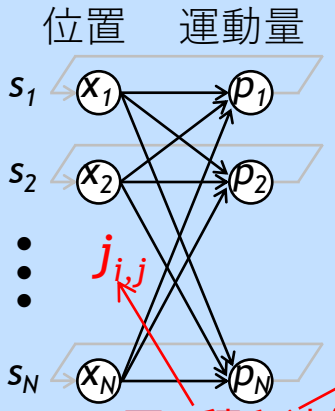
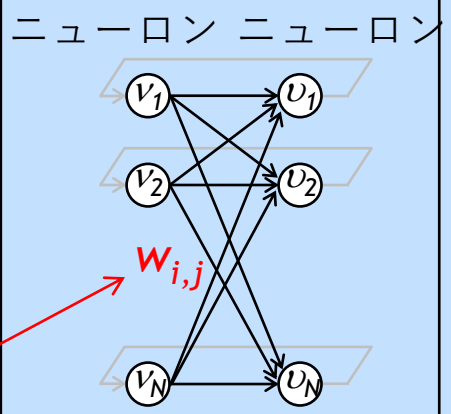
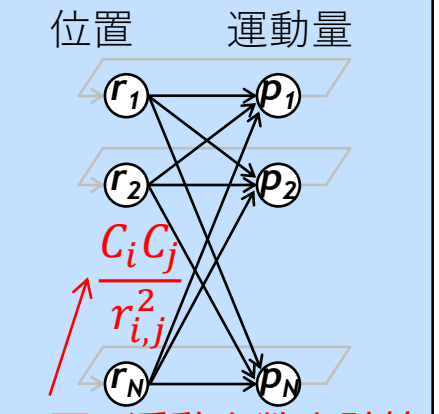
© 2024 Toshiba Corporation

*1 FPGA (Field programmable gate array), GPU (Graphic processing unit), NPU (Neural processing unit), ASIC (application specific integrated circuit)

SBアルゴリズムの特徴と実装

SBは市販FPGA/GPU/NPUで加速可能(ASICに限定されない)*1

→SBMの高い実用性・可用性・経済合理性

	SA シミュレーテッド アニーリング	SB シミュレーテッド分岐	R-NN 再帰的ニューラル ネットワーク	*N*-body 重力/クーロン場*N* 粒子シミュレーション
アルゴリズム構造	シーケンシャルアップデート  	パラレルアップデート  	 	 	
並列処理可能性	O(*N*)	O(N^2)		

More parallelizable
(より並列化可能)

高頻度なメモリアクセス
J/W matrix (NxN matrix)
→超並列・超高速実装のポイント

とても似ている

チップ当たりより多くのPE数
PE:二体相互作用計算のための演算要素

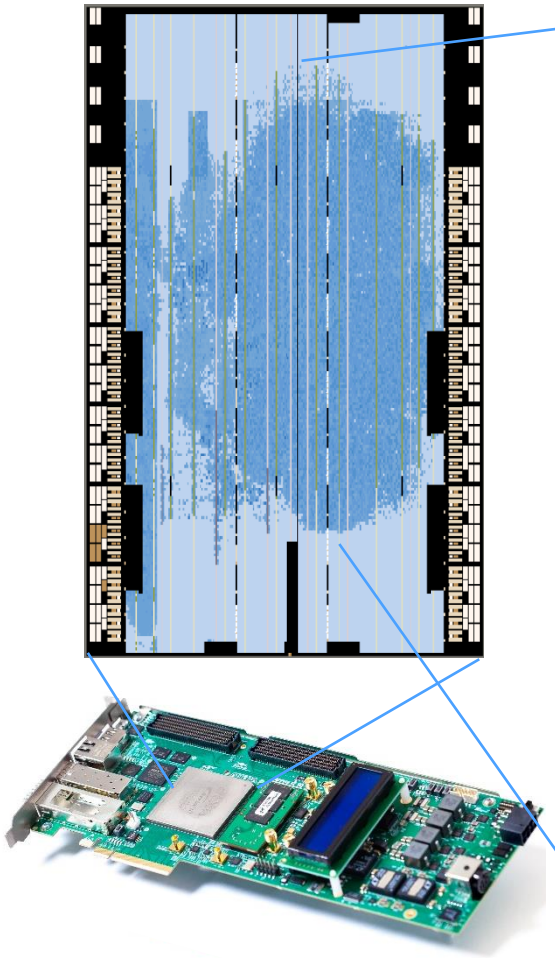
© 2024 Toshiba Corporation

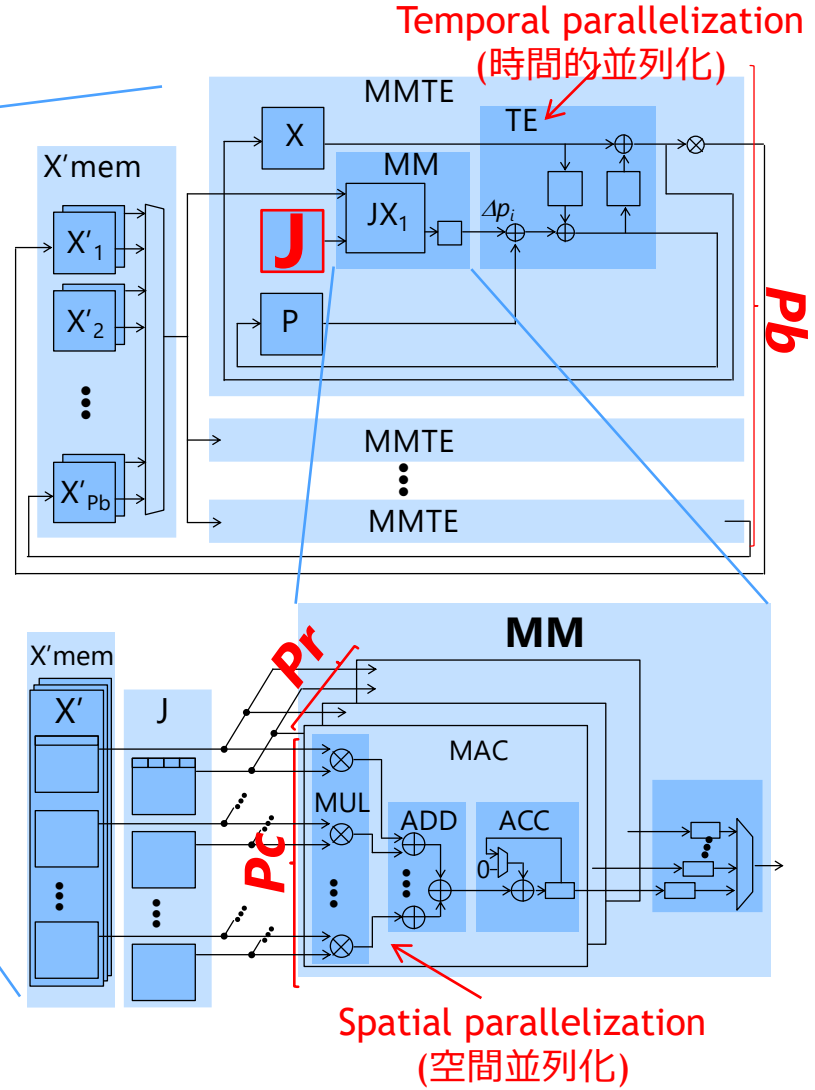
*1 K. Tatsumura *et al.*, "FPGA-Based Simulated Bifurcation Machine," *IEEE Field-Programmable Logic and Apps.* (FPL), 2019

SBアルゴリズムのハードウェア処理（ハードワイヤ化）

FPGAベースSBM(SBアルゴリズムの超並列処理回路)*1

Arria10 GX1150 FPGA





問題	complete-graph MAX-CUT
マシンサイズ	4,096 spins
アーキテクチャ	
並列度Pr/Pc/Pb	32/32/8
積和PE数	**8,192**
回路活性化率	**92%**
使用計算機リソース	
ALM	40%
BRAM	56%
DSP	7%
クロック周波数	[MHz]
Fsys	**269**

#PEs > N
(SAでは到達できない並列度)

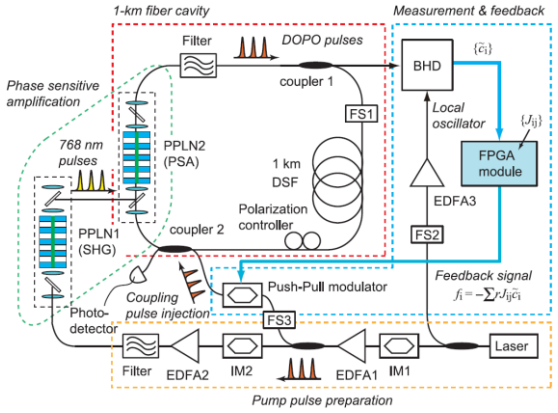
© 2024 Toshiba Corporation

*1 H. Goto et al., Science Advances 5, eaav2372 (2019)

SBM(第1世代）の発表*1（2019）

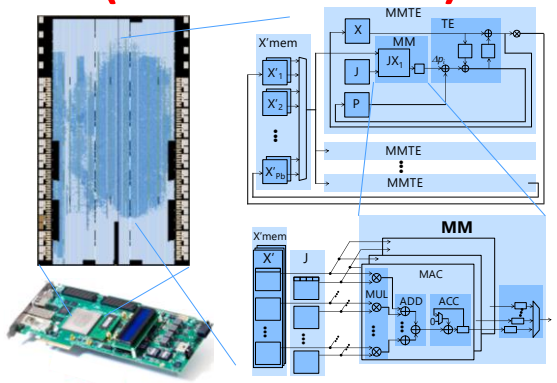
SA/先端イジングマシンより高速・高効率、高速リアルタイムシステム適合(<1ms)

Coherent Ising Machine
800 GMAC/s @ 1000 W

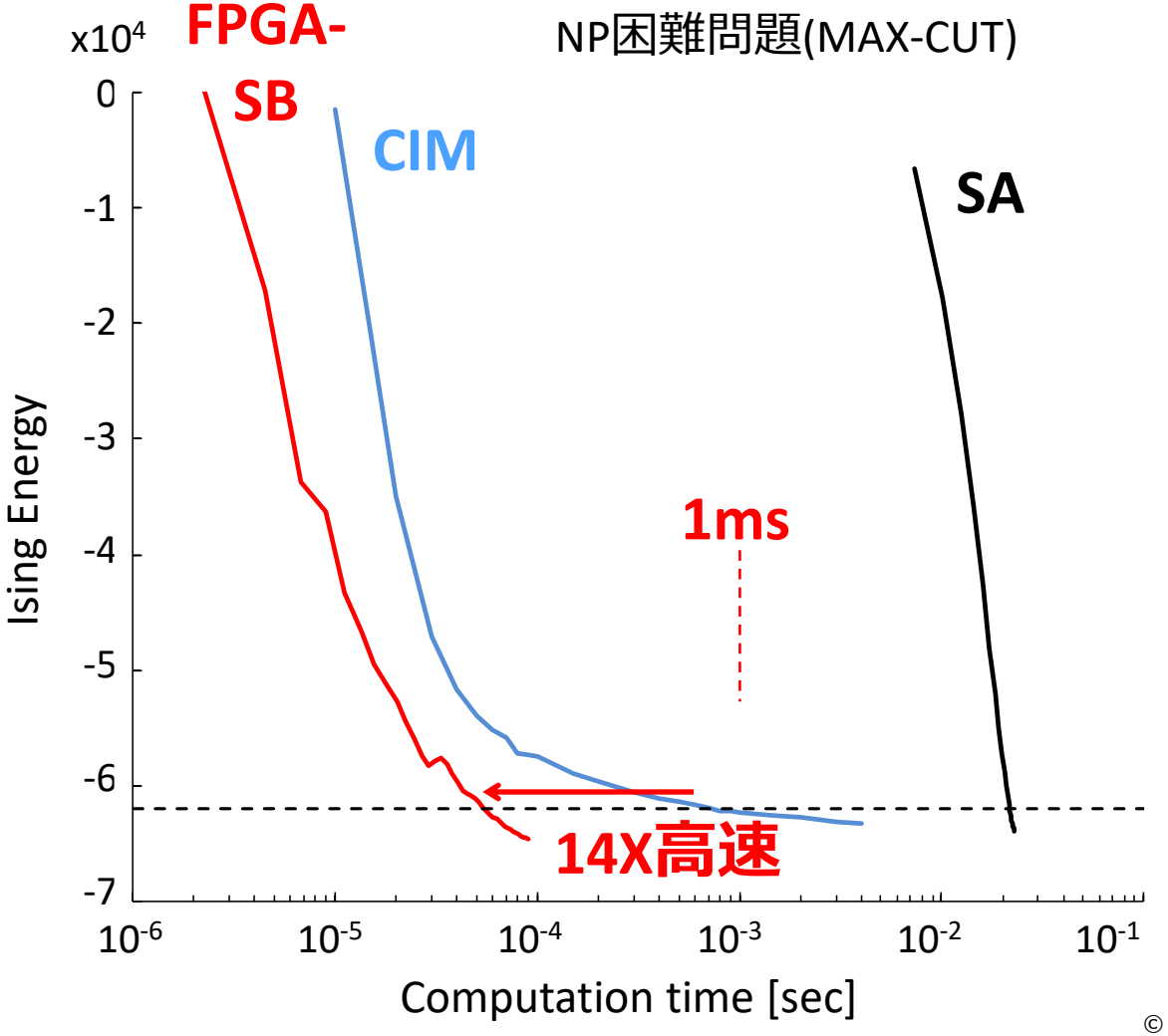


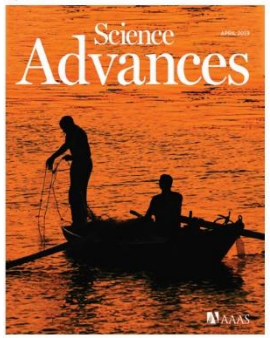
[T. Inagaki, Science 354, 603, '16]

FPGA-SB 1,873 GMAC/s @ 49 W
(288X倍高効率)



@2000ノード完全グラフの
NP困難問題(MAX-CUT)





© 2024 Toshiba Corporation

*1 H. Goto et al., Science Advances 7, eabe7953 (2021)

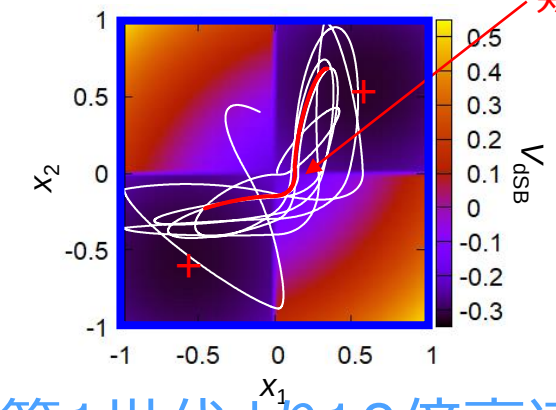
SBM(第2世代）の発表*1（2021）

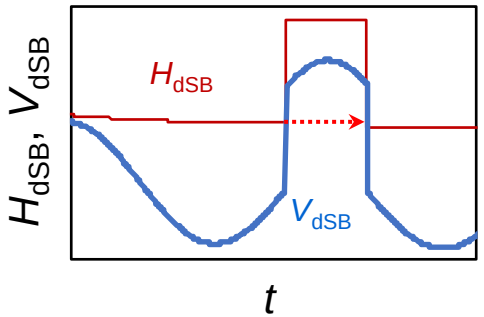
包括的な性能比較 → 強い競争力を実証

対 先端イジングマシンの群/様々な学術ベンチ問題

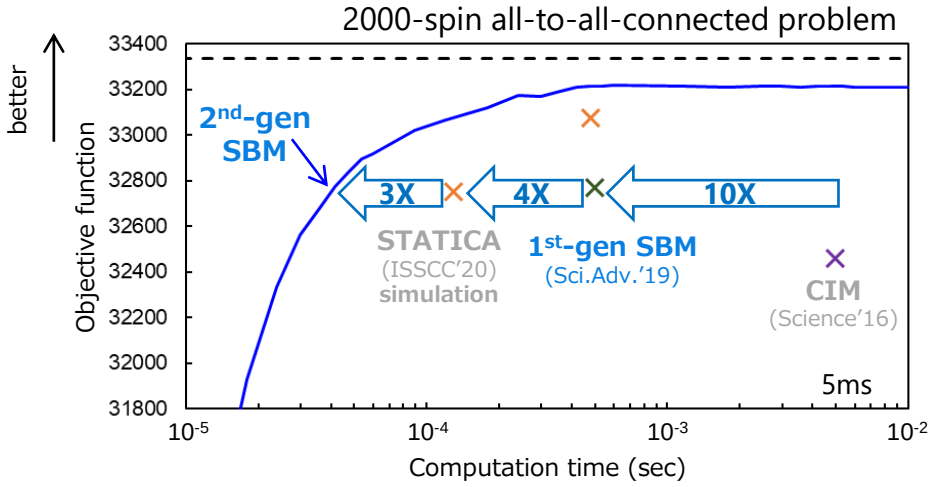
第2世代SBアルゴ

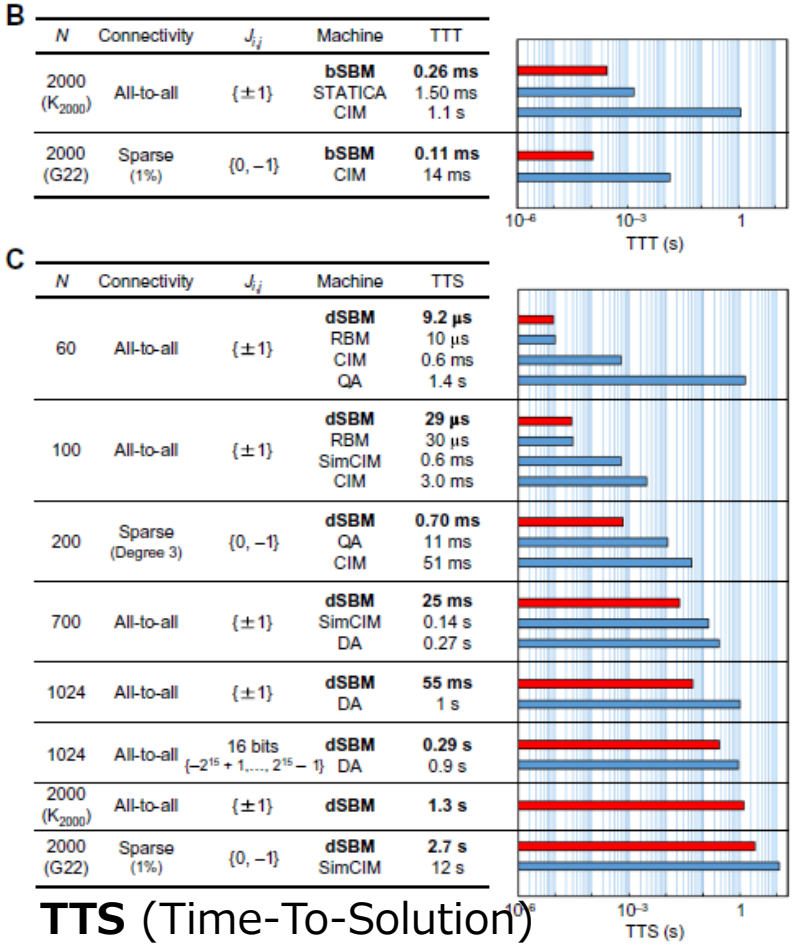
疑似量子トンネリング



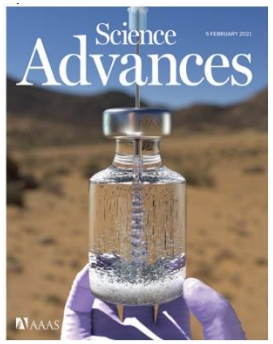


第1世代より10倍高速(FPGA-SB)





TTS (Time-To-Solution)



比較対象 イジングマシン

SB: Simulated bifurcation
QA: Quantum annealer
CIM: Coherent Ising machine
DA: Digital annealer
SimCIM: Simulated CIM
RBM: Restricted Boltzmann machine
MA: Momentum annealing

© 2024 Toshiba Corporation

Contents

シミュレーテッド分岐マシンのリアルタイムシステムへの応用
-金融・車載の事例-

はじめに

01 量子インスパイアード最適化技術をリアルタイムシステムへ応用する

02 シミュレーテッド分岐マシン(SBM)の理論と実装、性能

03 SBMのリアルタイムシステムへの応用：金融と車載の事例

© 2024 Toshiba Corporation

*1 Toshiba's website "SQBM+™"
https://www.global.toshiba/ww/products-solutions/ai-iot/sbm.html

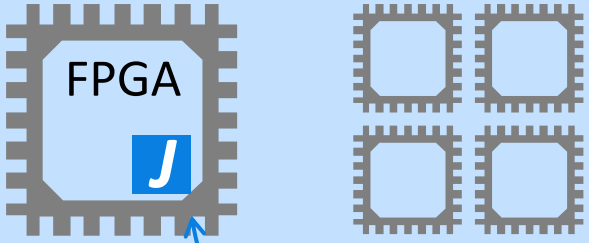
SBMの応用・展開*1

低遅延FPGA実装→エッジ/組込み、大規模GPU実装→クラウド

エッジ/組込み

より低遅延

FPGA cluster



オンチップメモリ

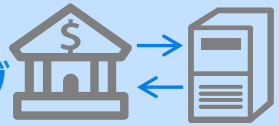
J matrix　シングルショット処理

$$\begin{bmatrix} \Delta p_1 \\ \Delta p_2 \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} & \square & \square & \square & \square \\ j_{21} & j_{22} & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{bmatrix}$$

高速リアルタイムシステム

本講演のフォーカス

金融トレーディング

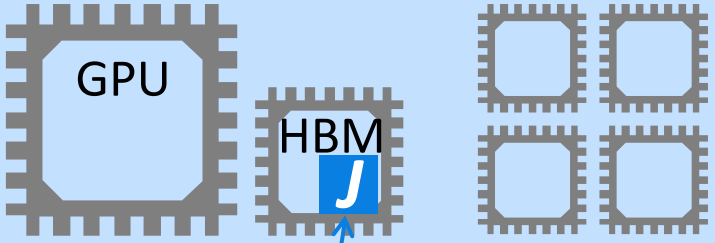


自律制御

クラウド

より大規模な問題

GPU cluster



オフチップメモリ

J matrix　バッチ処理

$$\begin{bmatrix} \Delta p_1 & \Delta p_1 & \\ \Delta p_2 & \Delta p_2 & \\ \square & \square & \cdots \\ \square & \square & \\ \square & \square & \\ \square & \square & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} & \square & \square & \square & \square \\ j_{21} & j_{22} & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square & \square & \square \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_1 & \\ x_2 & x_2 & \\ \square & \square & \cdots \\ \square & \square & \\ \square & \square & \\ \square & \square & \end{bmatrix}$$

高度・大規模・広域なシステム

計算創薬

計画立案

a Corporation

*1 辰村ら, “シミュレーテッド分岐マシンによって合理的な判断を行うリアルタイムシステム,” 東芝レビュー 77巻6号、2022年11月

FPGA実装組込み型SBM（回路IP）

高速リアルタイムシステムがNP困難問題に基づく高度判断を実行可能に*1

高速リアルタイムシステム

高速トレーディングシステム

Stock A

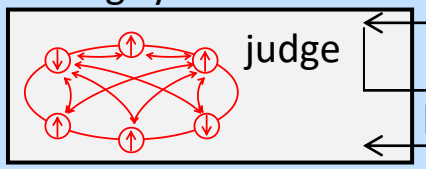
ASK	Price	BID
1,000	4,250	
	4,249	800
	4,248	1,200

Stock B

ASK	Price	BID
300	6,381	
	6,380	
	6,379	500

気配値の変化

Trading system A



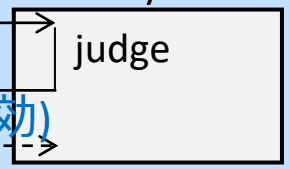
order

Fill(約定)

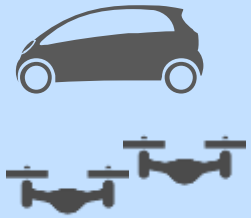
order

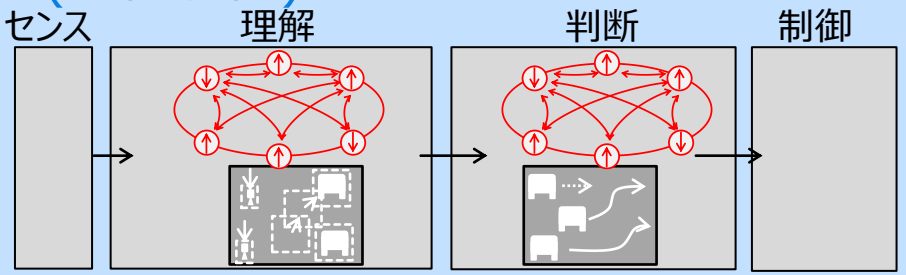
Lapse(失効)

System B



モビリティシステム(自律制御)



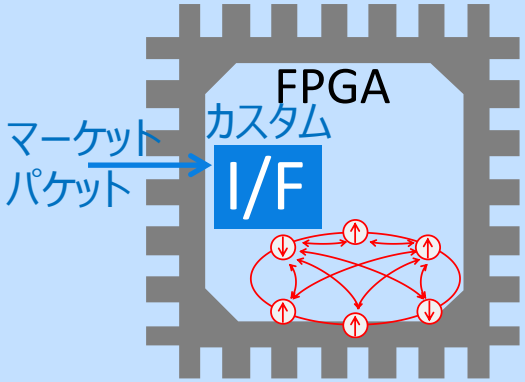


100msレイテンシ(センス・認識・計画・制御を１秒回に10回実行)

FPGA実装組込み型SBM

超低遅延 (サブミリ秒)

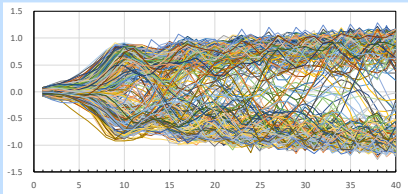
決定論的遅延



1. 組込み(混載)可能

2. カスタムI/Fを具備できる

3. カスタム回路(決定論的遅延、ソフトウェア割り込み無し)



事前に計算量を決定できる

© 2024 Toshiba Corporation

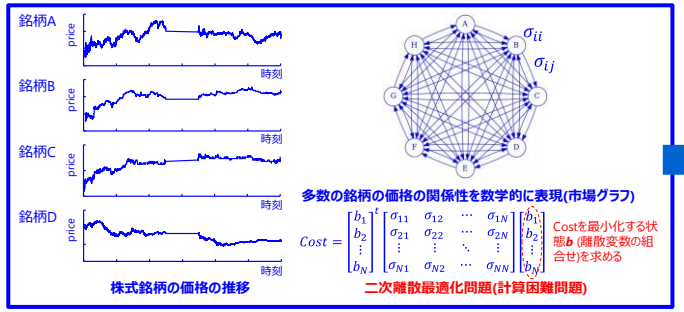
SBMの金融応用#1

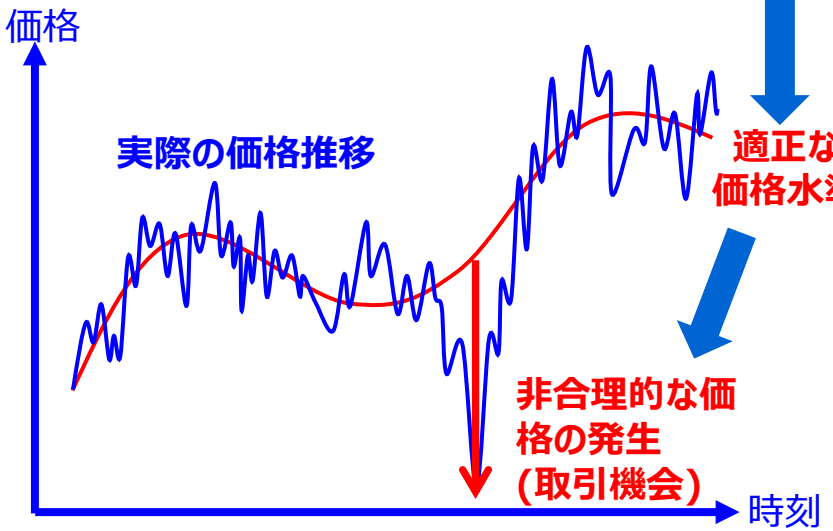
#1 東芝プレスリリース, 2023.12.15 "世界初、計算困難な2次離散最適化に基づく高度な株式取引戦略を量子インスパイアード計算機「シミュレーテッド分岐マシン」を用いて執行するシステムを実証"

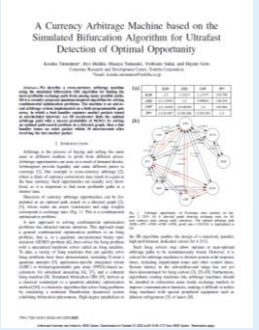
*1 https://doi.org/10.1109/ISCAS45731.2020.9181114
*2 https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3316727
*3 https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3326816
*4 https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3341422

*N*銘柄の関係性の高速分析(二次離散最適化)による取引機会の検知(適正価格推定とそれからの乖離)を特徴とする新しい戦略

どんなに優れた戦略であっても、同じ戦略を実行する競合がいれば、勝率は大きく低下する。
トレーダーは本質的にテクノロジーハングリーで、新規技術で人と違う取引機会を検知・執行したい(ハーディングの回避)。





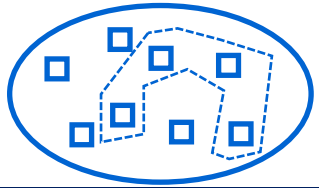
Type	高速リアルタイムトレーディング			資産運用
Target	外国為替	株式		
Strategy	外国為替裁定取引*1	拡張ペアトレーディング*2	高速離散ポートフォリオ最適化*3 本講演	多様化ポートフォリオ運用*4
Optimization	任意サイズ閉路探索	任意閉路の連続タブーサーチ	離散ポートフォリオ最適化	最大独立集合問題
Paper				
Date	Oct. 12, 2020	Sep. 18, 2023	Oct. 23, 2023	Dec. 12, 2023

高速離散ポートフォリオ最適化*1

*1 K. Tatsumura *et al.*, "Real-time Trading System based on Selections of Potentially Profitable, Uncorrelated, and Balanced Stocks by NP-hard Combinatorial Optimization," *IEEE Access* **11**, pp. 120023 - 120033 (2023).
*2 VWAP:株式価格が売買高加重平均価格

シャープレシオ(リターン/リスク)を最大化させるため、リターン大・非相関・デルタニュートラルの複数銘柄を選択し、同時に取引する高速トレーディング戦略

取引可能銘柄群N



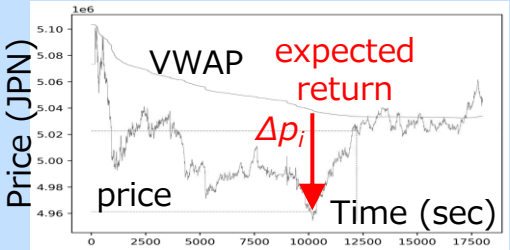
離散最適化

リターン/リスク比の最大化

売買銘柄群N_b

(瞬時)期待リターン

・各銘柄iにつき、VWAP*2と株価の乖離を瞬時期待値(ΔPi)と定義
・株式価格がVWAPに収れんする方向の売買需要が存在することに注目



離散性

各銘柄は売買対象にするか否かの２状態。全銘柄の取引額(A_{trans})が揃うように、当日基準値(P_i^b)と最小取引シェア(S_{min})を考慮して、銘柄毎注文ロット数(L_i)を決定

$$L_i = \frac{A_{trans}}{S_{min} p_i^b}$$

リスクの最小化

・選択銘柄群の相関性の合計の最小化(多様化ポートフォリオ)
・デルタニュートラル（買い/空売りの合計額をゼロ）

QUBO定式化

イジングビット

$$\boldsymbol{b} = [b_1 \quad b_2 \quad \cdots \quad b_N] \qquad b_i \in \{0, 1\}$$

銘柄iを売買対象にするか否か

組合せ最適化のトータルコスト関数

$$H_{QUBO} = \sum_i^N \sum_j^N Q_{i,j} = H_{cost} + H_{penalty}$$

コスト関数

$$H_{cost} = [b_1 \quad b_2 \quad \cdots \quad b_N] \begin{bmatrix} \Delta P_1 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1N} \\ \sigma_{21} & \Delta P_2 & \cdots & \sigma_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{N1} & \sigma_{N2} & \cdots & \Delta P_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix}$$

瞬時期待リターン

相関係数

ペナルティ関数

$$H_{penalty} = c_2 \left(\left(\sum_i^N b_i \right) - N_s \right)^2 + c_3 \left(\sum_i^N sgn(\Delta p_i) b_i \right)^2$$

制約条件①：
・N銘柄中N_b個のビットのみ1

$$\sum_i^N b_i = N_s$$

制約条件②：
・売/買の銘柄は同数

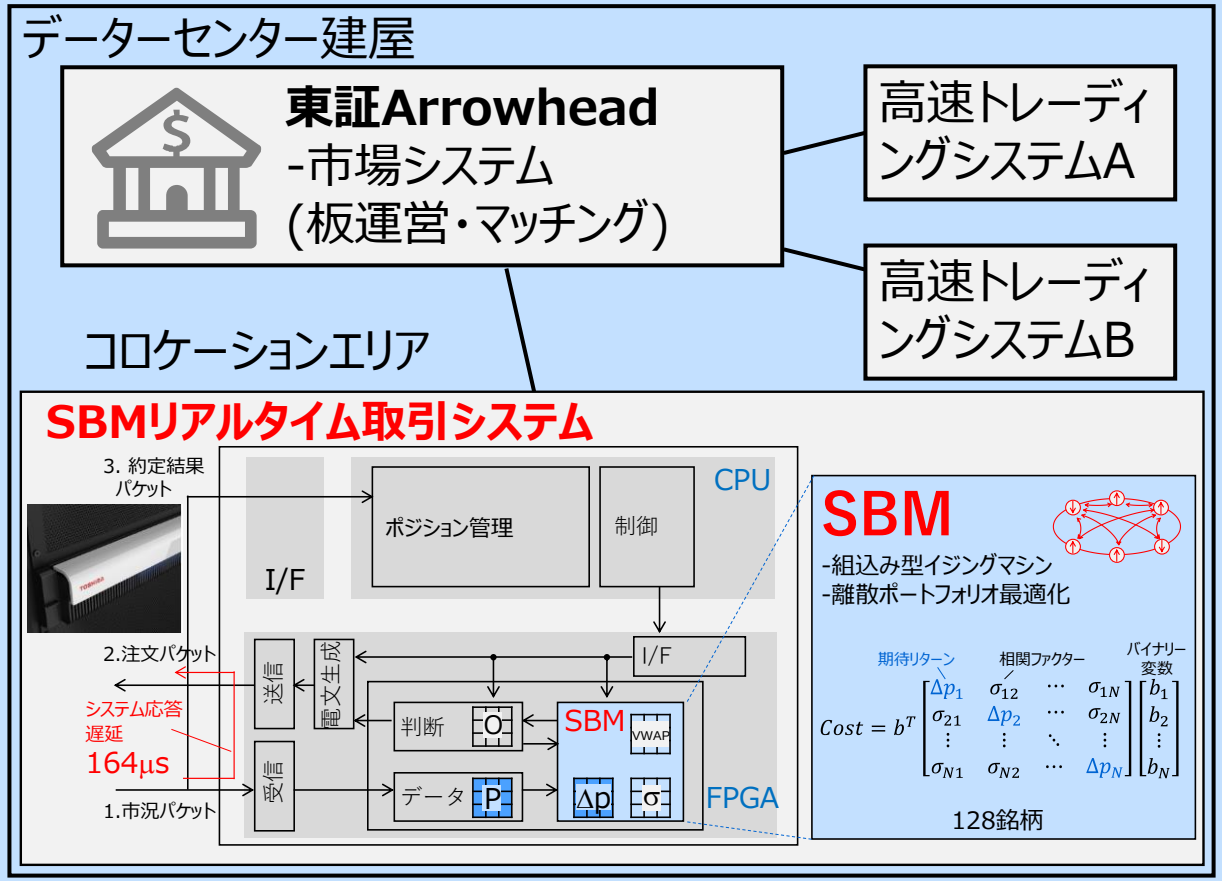
$$\sum_i^N sgn(\Delta p_i) b_i = 0$$

高速離散ポートフォリオ最適化*1

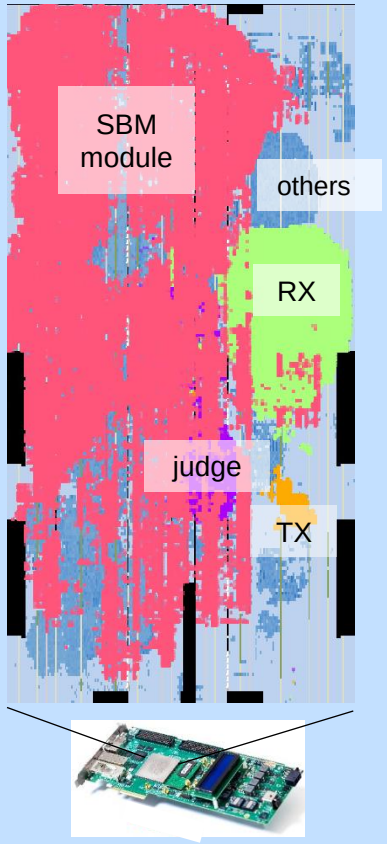
*1 K. Tatsumura *et al.*, "Real-time Trading System based on Selections of Potentially Profitable, Uncorrelated, and Balanced Stocks by NP-hard Combinatorial Optimization," *IEEE Access* **11**, pp. 120023 - 120033 (2023).

SBM高速リアルタイム取引システム(システムワイド応答時間:164us)を、東証コロケーションエリアに設置

システム構成

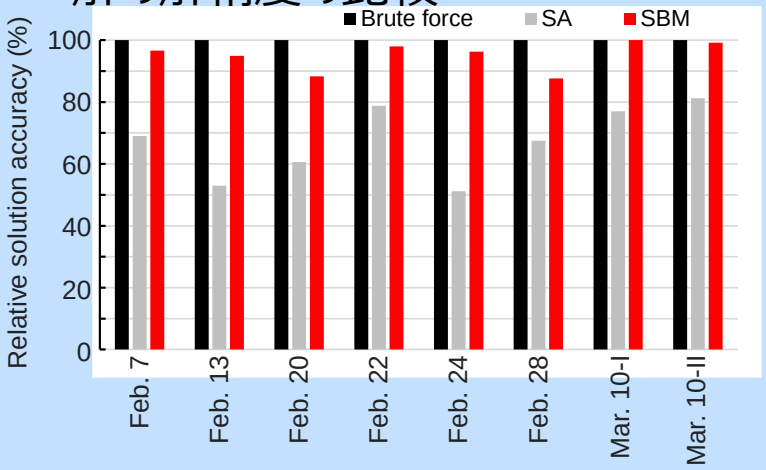


組込みSBM



SBアルゴ	弾道SB (bSB)
マシンサイズ	全結合128スピン
計算精度(諧調)	32浮動小数点
1 回の求解時間	162μ秒

同等計算量SAとのシングルショット求解の解精度の比較



Market situations from Feb. 7, 2023 to Mar. 10, 2023

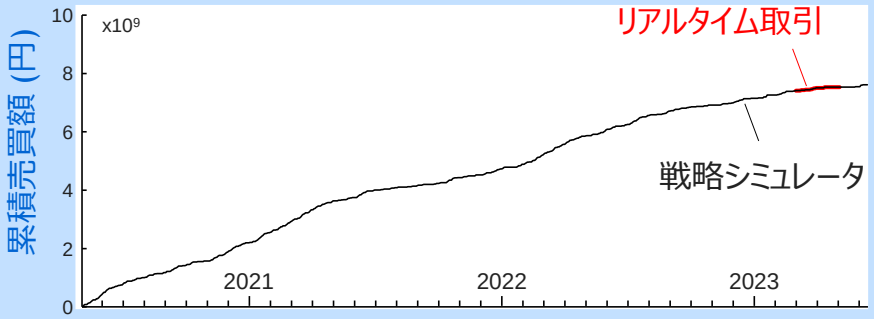
© 2024 Toshiba Corporation

高速離散ポートフォリオ最適化*1

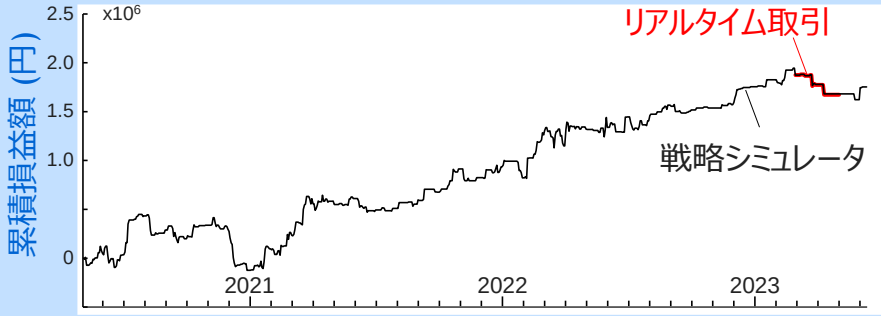
*1 K. Tatsumura *et al.*, "Real-time Trading System based on Selections of Potentially Profitable, Uncorrelated, and Balanced Stocks by NP-hard Combinatorial Optimization," *IEEE Access* **11**, pp. 120023 - 120033 (2023).

東京証券取引所のリアルタイム・リアルマネー取引データをもって、二次離散最適化に基づく戦略が執行可能(意図した値段・数量で約定)であることを実証

システム構成



2020年5月1日から2023年5月11日の営業日

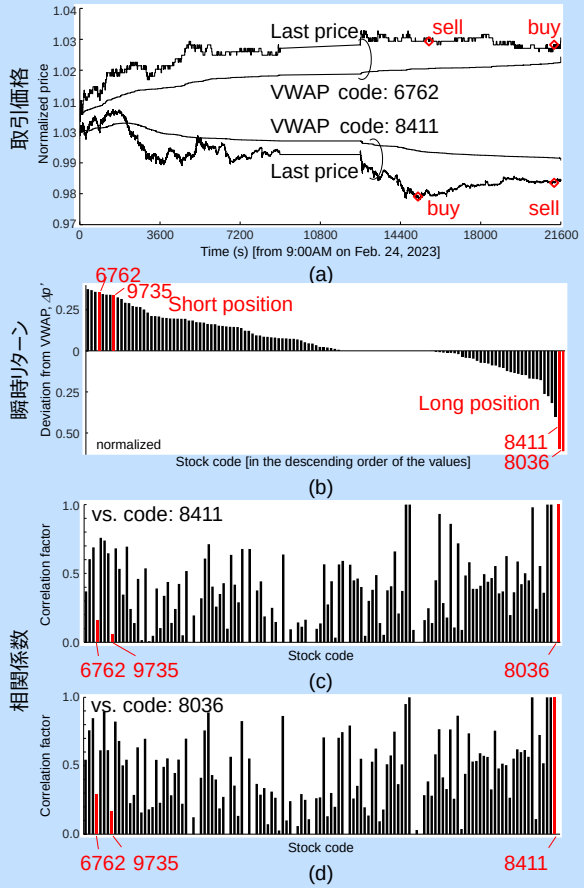


2020年5月1日から2023年5月11日の営業日

戦略概要	二次離散ポートフォリオ最適化による複数銘柄のパッケージ取引
戦略パフォーマンス	シャープレシオ 1.23　(年率リターン3.6%/年率リスク2.9%)
SBM求解/日	ex. 5,565,723回以上(Feb. 24, '23) *SBMは市況パケット到達毎に１回以上実行
運用実績	42営業日/252時間（誤取引なし）
約定実績	118,956,828円
執行能力	意図した数量・価格の約定を仮定する戦略シミュレータ(約定率100%を仮定)と比べて誤差0.01%(売買金額ベース)

252時間の連続稼働実績、１億円強の売買実績、意図した値段・数量での約定

一回の取引行動(典型例)



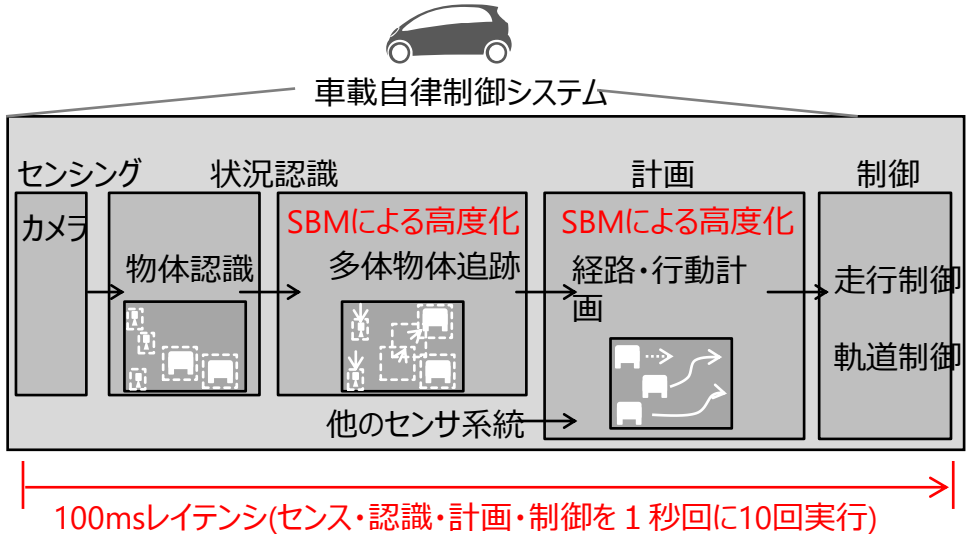
© 2024 Toshiba Corporation

SBMの車載応用*1

*1 大矢/藤本(ミライズテクノロジーズ), 濱川/山崎/辰村(東芝), “量子インスパイアード車載プラットフォームの提案と試作”, 自動車技術会論文集 54巻6号, pp. 1216-1221 (2023).
https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.54.1216

周辺状況に即座に最適応答・適合する高度な自動運転/運転支援システムへ

車載自律制御は、センス・認識・計画・制御のサイクルは1秒間に10回以上繰り返す、リアルタイム・ミッションクリティカルシステム。
二次離散最適化による高度な認識・計画の機能を、厳しい時間制約のもと、組込みSBM技術で実現する。



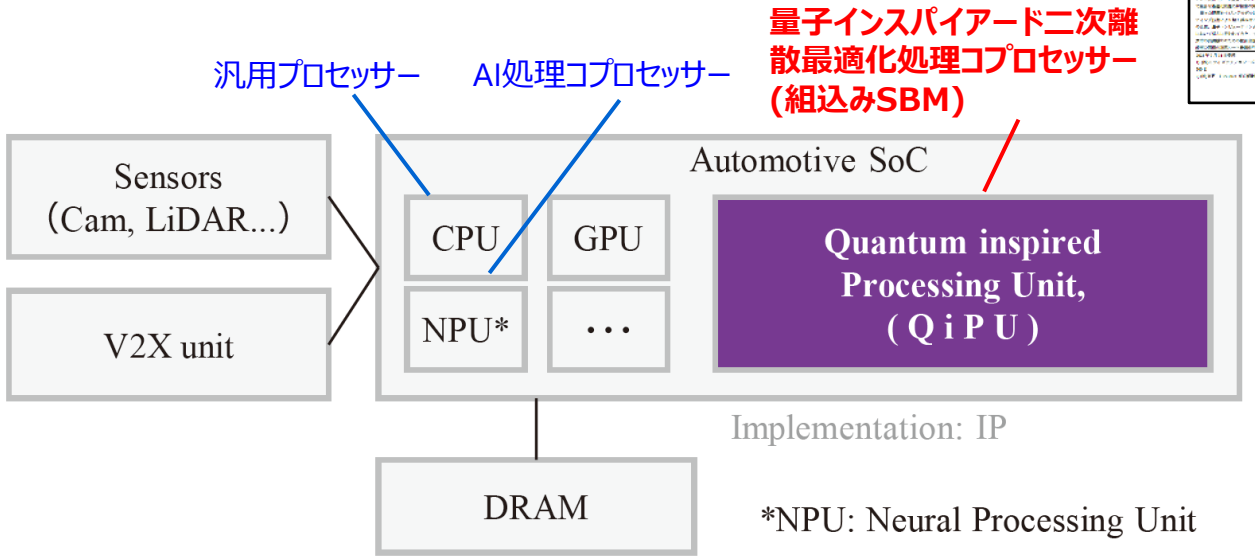


Fig.2 Architecture of automotive computing platform with Quantum inspired Processing Unit
量子インスパイアード車載コンピュータプラットフォームの提案*1

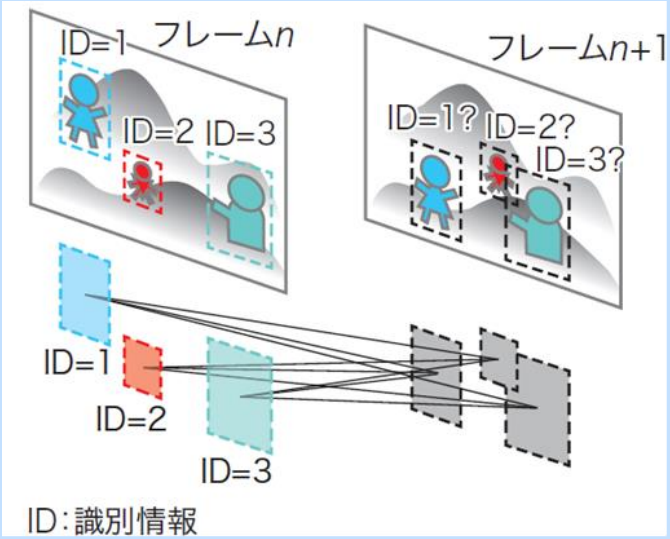
© 2024 Toshiba Corporation

SBM特有機能を持つ多体物体追跡*1

*1 大矢/藤本(ミライズテクノロジーズ), 濱川/山崎/辰村(東芝), “量子インスパイアード車載プラットフォームの提案と試作”, 自動車技術会論文集 54巻6号, pp. 1216-1221 (2023).
https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.54.1216

SBMの低遅延・広域な解探索能力を使って、従来の多体物体追跡法を、多数・長期オクルージョンに対応できるように拡張したシステム

多体物体追跡を拡張



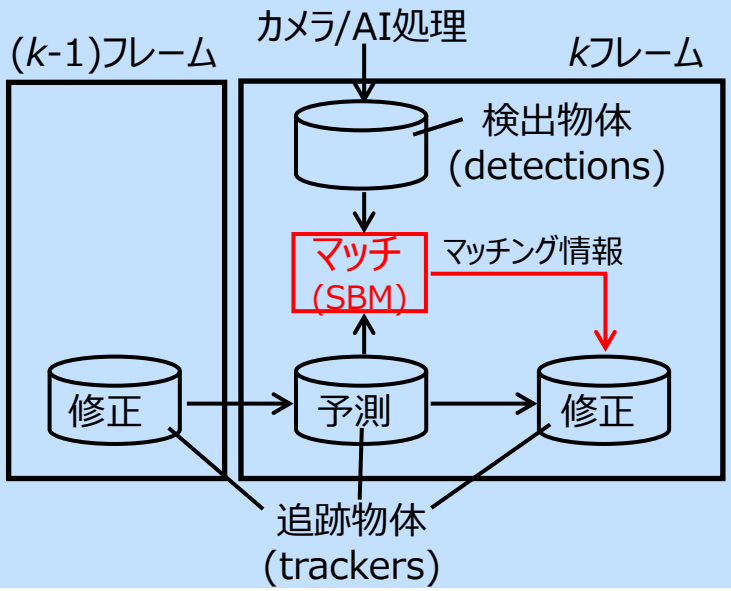
・従来SORT法をSBMの低遅延・広域な解探索能を用い，長期のオクルージョンに対応できるように拡張

・オクルージョン：追跡物体が他の物体などによって一時的に隠される現象を指す

QUBO定式化のポイント

・検出物対追跡物のマッチング処理をQUBOとして組込みSBMで解く

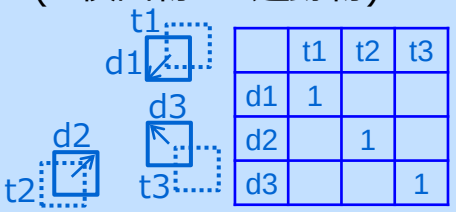
・ダブルマッチ禁止のペナルティ項のウェイト(c)を大小２通りで２回SBMを実行し、オクルージョンの発生の有無および、オクルージョン発生個所を特定



検出物と追跡物の重なり最大化　　ダブルマッチングの禁止

$$H_{QUBO} = \sum_{i}^{N}\sum_{j}^{N} Q_{i,j} = H_{cost} + cH_{penalty}$$

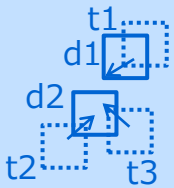
オクルージョン無し
(#検出物＝#追跡物)



	t1	t2	t3
d1	1		
d2		1	
d3			1

一対一マッチング

オクルージョン有り
(#検出物＜#追跡物)



	t1	t2	t3
d1	1		
d2		1	1
d3			

一対多マッチングを柔軟に許す

© 2024 Toshiba Corporation

SBM特有機能を持つ多体物体追跡*1

*1 大矢/藤本(ミライズテクノロジーズ), 濱川/山崎/辰村(東芝), “量子インスパイアード車載プラットフォームの提案と試作”, 自動車技術会論文集 54巻6号, pp. 1216-1221 (2023).
https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.54.1216

車載搭載可能ボードを使って、SBM特有オクルージョン対策機能を持つ多体物体追跡システム(～20FPSのスループット)を実証

車載搭載可能ボードへの実装

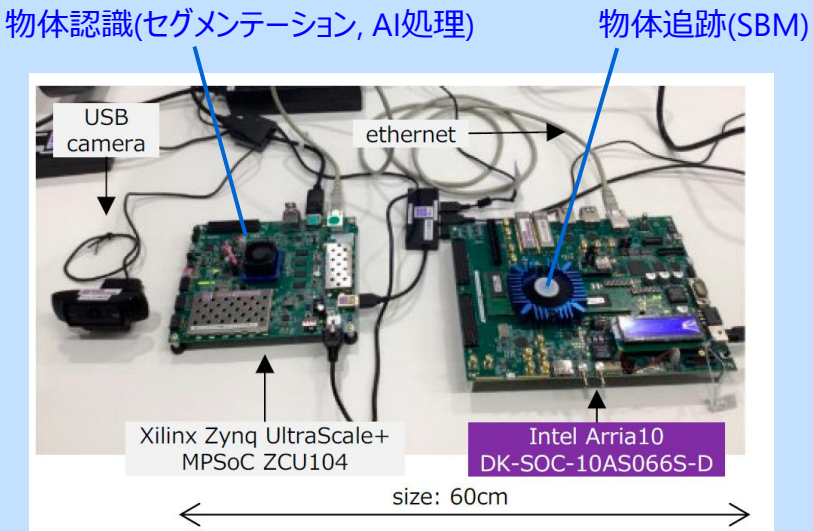


Fig.6 Appearance of prototype

SBアルゴ	弾道SB (bSB)
マシンサイズ	全結合512スピン
MAC-PE数	2,048
1 回のマッチング	284μ秒

スループット(>10FPS)

Table 3. Tracking performance of SORT with matching methods of Hungarian and SBM on MOT benchmark sequences [19]

MOT algorithm	Matching	MOTA↑	HOTA↑
Original SORT	Hungarian	48.77	44.80
Original SORT	SBM	48.76	44.83

Rectangles indicates Detection result, and Vectors in Rectangles indicates Tracking result.
*This image is processed for privacy protection.

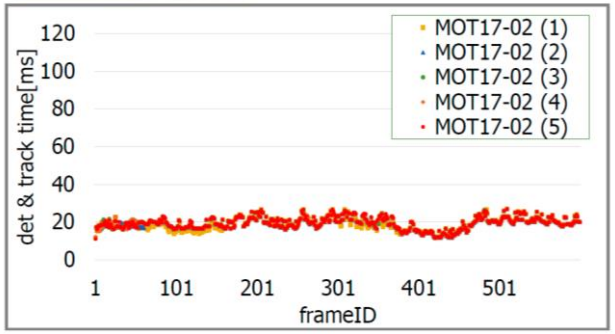


Fig.7 Evaluation result of processing time of prototype

・通常時追跡精度(w/o長期オクルージョン)は、SBM拡張法と従来法で同等
・システムスループットは20FPS程度

SBM特有機能

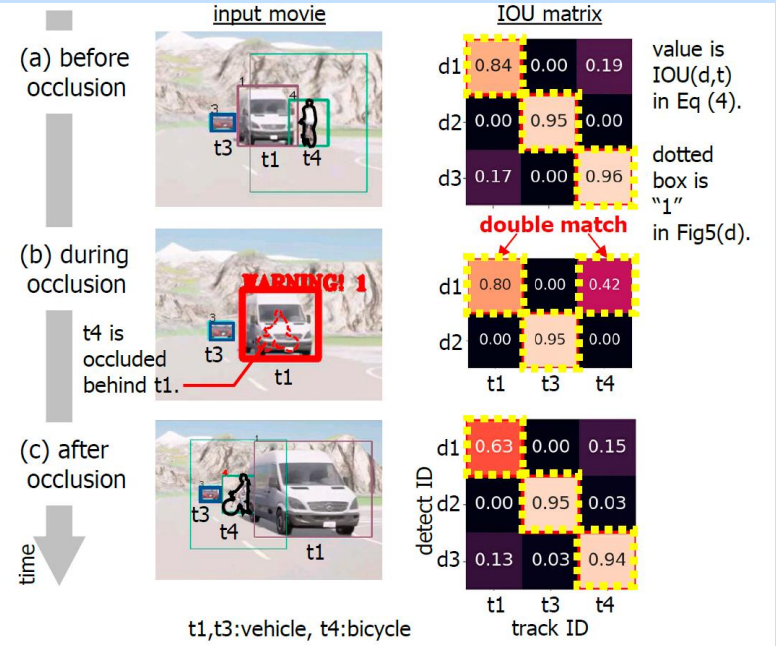


Fig.8 Function demonstration result of tracking through occlusion

・SBMの全解空間探索機能を活用したフレキシブルマッチングよって、多数・長期オクルージョンに対応

© 2024 Toshiba Corporation

シミュレーテッド分岐マシンのリアルタイムシステムへの応用
-金融・車載の事例-

シミュレーテッド分岐マシン(SBM)

・SBアルゴリズムは、量子インスパイアード、超並列処理可能な二次(高次)離散最適化のためのヒューリスティック
・SBアルゴリズムは、市販FPGA/GPU/NPUで加速可能　→　高い実用性・経済合理性
・FPGA実装組込み型SBMを、他の機能モジュールと混載することで、高速リアルタイムシステムを構築できる

二次離散最適化に基づく高度な判断を実行する高速リアルタイムシステム

・応答時間の制約のもと、これまで不可能だったより合理的な判断をするシステムを構築できる
　　→テクノロジーハングリーな金融・モビリティなどの分野で、排他的優位性をもたらしうる

・**金融：**二次離散最適化に基づく戦略が執行可能であること(応答速度の観点で、意図した値段・数量で約定できる)を、東京証券取引所のリアルタイム・リアルマネー取引データをもって実証
　　→これまで対象とされていない取引機会の検知および執行を可能に
・**車載：**イジングマシンの全解空間探索機能を活用したフレキシブルマッチングよって、多数・長期オクルージョンに対応できる物体追跡システムを、車載搭載可能ボードを使って実証（AIとの協調動作も鍵）
　　→二次離散最適化やAI処理のコプロセッサーを搭載する次世代車載プラットフォームへ

© 2024 Toshiba Corporation

SBM関連情報

TDSL SQBM+™ オフィシャルサイト
https://www.global.toshiba/jp/products-solutions/ai-iot/sbm.html
SQBM+™ ：シミュレーテッド分岐マシンを核とする量子インスパイアード最適化ソリューション(商用サービス名)
シミュレーテッド分岐マシン(SBM)：学術名

「SQBM+」で検索

論文リンク、報道発表リスト、マニュアル(クラウド版、組込み版)

© 2024 Toshiba Corporation