

TASKING[®]

**Infineon AURIX MCU向け
LAPACK Performance Libraries
製品概要**

L A P A C K

L -A P -A C -K

L A P A -C -K

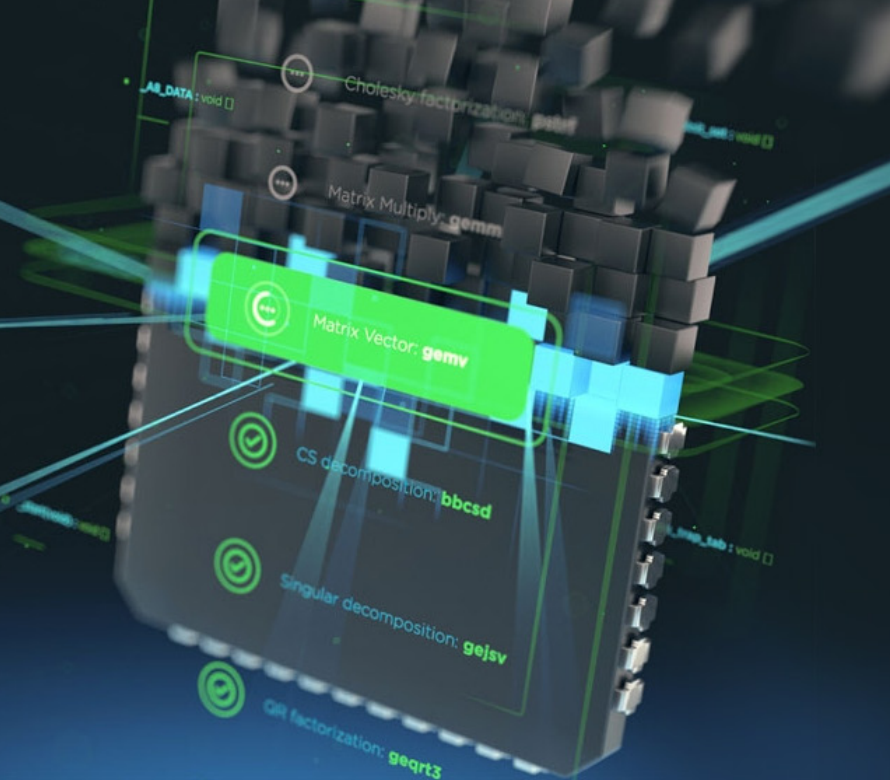
L -A P -A -C K

L A -P -A C K

L -A -P A C -K

TASKING®

LAPACK Performance Libraries



目次

LAPACK/BLASライブラリ - 概要	3
LAPACK/BLASライブラリ - 詳細	3
組み込みアプリケーション向けの数値ライブラリ	3
オープンソースのLAPACKとBLASの機能	5
TriCore AURIXへの移植	5
セーフティクリティカルシステムでの検証と使用	6
パフォーマンスデータ	6
ライセンス	7
TASKINGライブラリの試用	7



LAPACK/BLASライブラリー概要

TASKING® LAPACKパフォーマンスライブラリでは、高度に最適化されたISO C99準拠のソースコードライブラリとして、Linear Algebra PACKage (LAPACK) と基本線形代数サブルーチン (BLAS) が提供されています。

線形代数は、行列とベクトルを用いた一次方程式とそれらの表現に関係するもので、工学専門分野全体で使用されています。現在の先進運転支援システム (ADAS) にまつわる数学的な複雑性によってコンピューティングの水準が引き上げられていますが、これに最も対応できるのはLAPACKやBLASといった広く利用され、徹底的にテストされている正確ですばやい一連のデファクトスタンダードライブラリです。こうしたライブラリを利用するメリットがある領域としては、運動学的/動的車両モデリング、従来のアルゴリズムまたは人工知能 (AI) を使用する物体の検出と分類、センサーデータの融合、 freespace の検出、運転経路の計画などが挙げられます。TASKINGのライブラリを活用することで、Euro NCAP 2025 Roadmapの「ビジョンゼロの追求」で掲げられている自動運転機能の実装が容易になります。

TASKINGのライブラリでは、単精度演算に対応するようにLAPACKとBLASが完全に実装されます。そのため、既存のLAPACK/BLASをベースとするソフトウェアを組み込みデバイスにシームレスに移植できます。また、MathWorksのMATLAB¹とSimulinkのオートコーダーの出力にも対応しているため、既存のソフトウェア開発フローでのライブラリのデプロイが容易になります。

Tricore AURIX向けのTASKINGパフォーマンスライブラリは、インフィニオンのマイクロコントローラーであるTriCore AURIXとAURIX 2nd Generation (2G) を対象に高度に最適化され、TASKING TriCore Compilerを使って検証と調整が行われています。TriCoreが6つのAURIX 2Gの浮動小数点ピーク・パフォーマンスは1.8GFlop/sで、BLAS関数の内側ループは通常コアあたり約300MFlop/秒で動作します。このライブラリは、ASPICE CL2に準拠する工程を用いて構築されており、生成されるコードはデファクトスタンダードの「LAPACK Test Suite」を使って検証と立証が行われています。そのため、ASIL-Bまでに対応する安全関連システムでの使用に適しています。

ライブラリには、完全なCソースコード、コンパイル済みのバイナリファイル、メイクファイル、ユーザードキュメント、サンプルが付属しています。ライブラリはTriCore向けのTASKING VXツールセット (パッケージには含まれません) を使って構築 (または再構築) し、AURIXとAURIX 2Gを対象にすることができます。または、ISO C99準拠のその他すべてのコンパイラを使って構築し、あらゆる (組み込み) デバイスを対象にすることも可能です。なお、後者の場合はパフォーマンスの最適化という点でやや劣り、結果も事前に検証されていません。

LAPACK/BLASライブラリ: 詳細

組み込みアプリケーション向けの数値ライブラリ

組み込みアプリケーションに関連する数学は、ますます複雑なものになっています。こうした傾向は、たとえばスマートフォンに顕著に表れています。最新のスマートフォンでは、顔の認証や画像オブジェクトの分類など、複雑なアルゴリズムをリアルタイムで実行できます。これを可能にしているのは高度のコンピューティング性能にほかなりません。

¹: MATLABは、LINPACKやEISPACKで構築されるインタラクティブな計算機として1970年代に誕生しましたが、最新版のMATLABにはLINPACKとEISPACKの後継であるLAPACKが使用されています。MATLAB®とSimulink®のオートコーダー (旧Real-Time Workshop®) で生成されるコードは、組み込みデバイスで実行します。これらはLAPACKとBLASのインターフェースを使用して、デバイスごとに最適化された実装を行うことができます (TASKING LAPACKパフォーマンスライブラリなど) 。

右の図は、過去24年間にわたるスーパーコンピュータのパフォーマンス（上位500台）の推移です。オレンジの線は最も高速な上位500台のコンピュータの累積パフォーマンス、赤い線は世界最速のコンピュータのパフォーマンス、青い線はこれらのうちで最も低速なコンピュータを示しています。パフォーマンスは、評価対象のコンピュータの実行に対して個々に調整された一連の線形代数関数を使用して測定されています。

1990年代には、この測定²にLAPACKとBLASが使用されていました。グラフには、現在のノートパソコンと携帯電話のデータが表示されていますが、これらは多くの場合に組み込みコンピュータシステムのパフォーマンスの傾向を予測するため使用されます。現在の組み込みデバイスのパフォーマンスは、主に「ローカルキャッシュを使用するマルチコア共有メモリ」のアーキテクチャが基盤になっていた1990年代中頃のスーパーコンピュータのパフォーマンスに一致しますが、こうしたアーキテクチャは現在の高性能な組み込みデバイスのアーキテクチャに類似します。これこそが、LAPACKとBLASが現在の組み込みデバイスの実装に適している理由です。

AURIXの単精度浮動小数点のピークパフォーマンスは600 MFlop/秒ですが、これは一連の乗算命令を実行し、読み込みと保存を行わずにそれぞれのFlopを2とカウントすることで実現します。

BLAS関数は、RAMのオペランドを読み込んで計算結果をRAMに格納し直しますが、乗算命令のみを使用しません。そのため、ハードウェアの理論的なピークパフォーマンスは300 MFlop/秒に低下します。

以下のグラフには、一部の一般的な関数を使用した場合のパフォーマンスが示されています。ここでは、TriCore v6.3r1向けのTASKING VXツールセットでライブラリが構築され、TC298TEプロセッサを使って300MHzで測定が行われています。

他の関数やパラメーターの値を使用した結果は、リクエストに応じてTASKINGから提供されます。

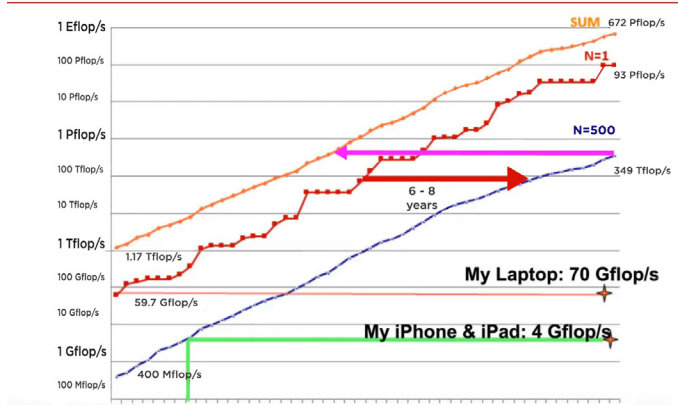
自動車業界では、コンピューティングのパフォーマンスに機能安全を組み込む必要があります。これは、ハードウェアとソフトウェアの両方が対象となります。

インフィニオンのTriCore AURIXやAURIX 2Gのように、高いASILに対応するように設計されているマイクロコントローラーはわずかしかなかったりありません。

数学ライブラリは数多く存在するものの、セーフティクリティカルな組み込みシステムでの使用に適しているものはほぼありません。ライブラリを選択する際には、使いやすさ、業界の慣行や標準への適合、必要なデバイスのアーキテクチャへの移植性、実行時のパフォーマンス、開発者からの継続的なサポート、特殊なシナリオでのコードの専門的な最適化といった広範に及ぶ要件を考慮に入れる必要があります。

こうした制約を踏まえると、LAPACKとBLASのオープンソースの数学ライブラリは有望と言えるでしょう。ローカルキャッシュを使用するマルチコア共有メモリシステムでの使用を目的とするこれらのライブラリは高度に最適化されるうえ、著名なサイエンティストによって設計と実装が行われるほか、さまざまな学術機関、国家研究所、業界パートナーによって維持されています。また、天文学、計算流体力学、振動解析、防音、データマイニング、深層学習、信号分析、コンピュータービジョンなどの領域で長年にわたって使用されている実績もあります。

 Performance Development of HPC over the last 24 Years from the Top500



²: ScaLAPACK、PLASMA、MAGMAといったLAPACKとBLASの後継では、LAPACKやBLASと同じインターフェースが使用されているものの、並列分散メモリマシンなどのアーキテクチャやGPUで加速化されるマルチコアアーキテクチャに合わせて、使用されるアルゴリズムや実装が最適化されています。インターフェース

このライブラリは業界のデファクトスタンダードであり、Intel Math Kernel Library (MKL)、ARM Performance Libraries、MathworksのMATLAB/Simulinkといった数学ライブラリの基礎になっています。ただし、ここには1つの問題がありました。それは、組み込みシステム向けのコンパイラが通常は対応していない言語であるFortranでしか使用できなかったことです。

そこでTASKINGは、LAPACKとBLASのソースコードをFortranからISO C99に変換し、ライブラリを組み込みシステムで使用できるようにしました。

オープンソースのLAPACKとBLASの機能³

Fortran 90で記述されているLAPACKでは、線形連立一次方程式、連立一次方程式の最小二乗問題、固有値問題、特異値問題を解くためのルーチンが提供されています。関連する計算としては、シュールの因数分解の整理や条件数の推定など、行列の因数分解 (LU、コレスキー、QR、SVD、シュール、一般化シュール)を使用できます。密行列や帯行列には対処できるものの、一般疎行列は対象外です。すべての領域の単精度と倍精度の両方で、実行列と複素行列を対象に類似する機能が提供されています。

LAPACKのルーチンには次の3つの種類があります。

- ドライバルーチンは、連立一次方程式の解決や実対称行列の固有値の計算など、完全問題を解決します。要件を満たすドライバルーチンを使用することが推奨されます。
- LAPACKルーチンとも呼ばれる計算ルーチンは、 m 行 n 列行列のLU分解を計算したり、QRアルゴリズムを使って対称三重対角行列の固有値や固有ベクトルを特定したりするなど、特異な計算タスクを実行します。
- 補助ルーチンは、ドライバルーチンや計算ルーチンから呼び出されるその他のすべてのサブルーチンです。

効率を上げるためのアプローチは、それぞれのコンピューティング環境に対して最適化できる標準的な基本線形代数サブプログラムの使用に基づきます。LAPACKルーチンの並列性は、BLASでもほぼ完全に維持されます。行列の乗算など、LAPACKアルゴリズムでは最も内側のループでブロック行列の演算が使用されます。

こうしたブロックの演算を最適化すると、メモリ階層を構成できます。LAPACKには、それぞれのマシンに実装済みの高度に最適化されたブロック行列演算が必要になります。

BLASは、基底ベクトル/行列の演算を実行するための標準的な構成要素を提供するルーチンです。

レベル1 BLASではスカラー、ベクトル、ベクトル間の演算、レベル2 BLASでは行列とベクトル間の演算、レベル3 BLASでは行列間の演算が行われます。

TriCore AURIXへの移植

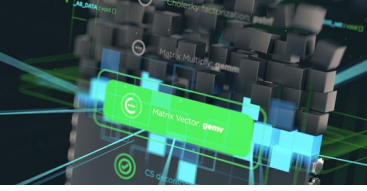
Tricore AURIX向けのTASKINGパフォーマンスライブラリは、Netlib (<http://www.netlib.org>) Fortran version 3.7.0.に基づいています。

Fortranのコードは、手動で最適化してからFortran-C変換でISO C99に変換します。ここでは、Fortranの元のバージョンの更新が容易に将来のリリースに反映されるようにISO C99が実装されています。

LAPACKパフォーマンスライブラリは、次の3つの個別の物理ライブラリで構成されています。

- Linear Algebra PACKage (LAPACK)
これは最上位のライブラリで、大半の計算を実行する基本線形代数サブプログラムに構築されるエントリーポイントになります。

³: 詳細についてはウェブサイト (<http://www.netlib.org/lapack> and <http://www.netlib.org/blas>) をご覧ください。



- 基本線形代数サブルーチン (BLAS)
このライブラリには、基底ベクトル/行列の演算を実行するための標準的な構成要素を提供する関数が含まれています。
- Fortran-C (F2C) サポート関数
F2Cライブラリは、さまざまなFortran I/Oや組込関数のISO C99実装を提供するランタイムライブラリです。

TASKINGのシングルスレッドのライブラリでは、実数を対象とするすべての単精度LAPACK関数がサポートされています。ここでは、AURIXの浮動小数点演算ユニットが使用されます。AURIXでは、倍精度浮動小数点演算がサポートされていないため、Tricore向けに今後リリースされるライブラリでは、64ビットの浮動小数点がサポートされないと見込まれていますが、複素数は今後のリリースでサポートされる予定です。

TASKINGによるBLASの実装は高度に最適化されています。たとえば、制限的なキーワードがBLAS関数の宣言のすべてのポインターパラメータに追加されており、基礎となるデータオブジェクトが特定のポインターだけからアクセスされることがコンパイラに通知されます。これにより、コンパイラは危険になり得る対象を最適化できるようになります。AURIXのアーキテクチャのメモリ帯域幅を最適に使用するために、複数のロード命令やストアワード命令ではなく、ロードダブルワード命令やストアダブルワード命令を使用することで、ロード/ストア命令に対する浮動小数点命令の比率が上げられています。こうした最適化が必要な場合には、ループ構文が書き換えられます。TriCore v6.2r1を対象とするTASKING VXツールでコードをコンパイルするとパフォーマンスが最大になり、大半のBLAS関数のパフォーマンスはAURIXの最大パフォーマンスに近くなります。これにより、手動の実装でそれ以上の調整が不要になります。

Cソースファイル、メイクファイル、コンパイル済みのオブジェクトファイルが付属するTASKINGのライブラリは、TriCore向けのTASKING VXツール（パッケージには含まれません）を使って構築（または再構築）することができます。また、メイクファイルを使用すると、AURIX (TriCore1.6.x) とAURIX 2G (TriCore1.6.2) 向けのライブラリを構築できます。さらに、サードパーティーのISO C99コンパイラを使って、あらゆる（組み込み）デバイスを対象にライブラリを再構築することも可能です。

HTMLベースのAPIリファレンスは、ブラウザから簡単にアクセスできます。ここにはソースファイルのDoxygenのコメントがまとめられています。また、アプリケーションのCモジュールに含めるために、サポートされるすべてのLAPACK/BLAS関数とデータタイプを宣言するCヘッダーファイルも提供されています。

セーフティクリティカルシステムでの検証と使用

ライブラリでのTricore AURIXの移植とテストは、ASPICE CL2に準拠する工程を用いて行われています。NetlibのLAPACKとBLASのソフトウェアでは入念に作りこんだテストスイートとテスト命令が提供されていますが、TASKINGのライブラリではこれらが使用できることも検証済みです。ライブラリのバージョンv1.0r2は、TriCore v6.2r1とv6.3r1を対象とするTASKING VXツールセットでコンパイルされています。

パフォーマンスデータ

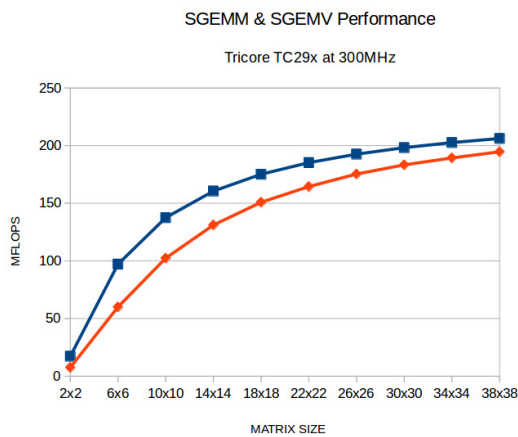
一般的な関数と入力パラメータの結果はこちらに一覧化されています。他の関数やパラメータ値の結果は、リクエストに応じてTASKINGから提供されます。

測定は、TC298TEプロセッサのコア0で実施されています。実行速度は、1秒あたりの100万浮動小数点演算 (MFlop/s) で一覧化されています。300MHzでTC1.6Pコアを使って達成される最大浮動小数点パフォーマンスは600MFlop/sです。この値は、浮動小数点の乗算命令（各Flopを2としてカウント）を読み込みや保存なしに継続して実行したものに相当します。BLAS関数では、浮動小数点オペランドをRAMから読み取って計算結果をRAMに格納し直す必要があるほか、乗算命令のみを使用しないために、最大パフォーマンスは理論値である600MFlop/sをはるかに下回り、最大でも300MFlop/sに制限されます。

LAPACK PERFORMANCE LIBRARIES

測定は、TriCore v6.3r1を対象とするTASKING Cコンパイラを使って実施されています。他のコンパイラを使用すると、異なる結果が出る可能性があります。開発版のコンパイラで構築されるライブラリのバイナリバージョンは、リクエストに応じてTASKINGから提供されます。

LAPACK関数	パラメーター	TASKINGライブラリ v1.0r1	TASKINGライブラリ v1.0r2	パフォーマンスの上昇率
sgemm	size=30x30, not transposed, $\alpha=1, \beta=0$	134MFlop/s	206MFlop/s	+54%
sgemv	size=30x30, not transposed, $\alpha=1, \beta=1$	131MFlop/s	189MFlop/s	+44%
sdot	size=85	140MFlop/s	150MFlop/s	+7%
ssymm	size=25x25, side=L, uplo=U, $\alpha=1, \beta=0$	58MFlop/s	107MFlop/s	+84%



ライセンス認証

ライセンスに関する詳細については、TASKINGまでお問い合わせください。

TASKINGライブラリの試用

Tricore AURIX向けのTASKINGパフォーマンスライブラリの試用をご希望の場合は、TASKINGの営業チーム (tasking.support.jp@altium.com) までご連絡ください。

ALTIUMについて

Altium LLC (ASX: [ALU](#)) は、本社が米国カリフォルニア州サンディエゴにある、3D PCB設計や組み込みシステム開発に関するエレクトロニクス設計システムに特化した、多国籍のソフトウェア会社です。Altium製品は、世界中にあり、エレクトロニクス設計チームが共有できる環境を提供します。

独自の技術領域を持つAltiumは、企業や設計コミュニティが期限と予算を順守しながら、技術革新やコラボレーションを通じて、コネクテッドな製品を創造できるように支援します。提供製品には、Altium Designer®、Altium Vault®、CircuitStudio®、PCBWorks®、CircuitMaker®、Octopart®、Ciiva®、TASKING® (各種の組み込みソフトウェアコンパイラ) があります。

1985年に設立されたAltiumは全世界に拠点を置いています (米国: サンディエゴ、ボストン、ニューヨーク、欧州: カールスルーエ、アムスフォールト、キエフ、ツール、アジア太平洋: 上海、東京、シドニー)。詳細は、www.altium.comをご覧ください。また、Facebook、Twitter、YouTubeでもAltiumについてご参照いただけます。

TASKING[®]

www.tasking.com