

IBM i



IBM i
プログラミング・マルチスレッド・アプリケーション

バージョン7.2

IBM i



IBM i
プログラミング・マルチスレッド・アプリケーション

バージョン7.2

ご注意

本書および本書で紹介する製品をご使用になる前に、 87 ページの『特記事項』に記載されている情報をお読みください。

本製品およびオプションに付属の電源コードは、他の電気機器で使用しないでください。

本書にはライセンス内部コードへの参照が含まれる場合があります。ライセンス内部コードはマシン・コードであり、マシン・コードの IBM のご使用条件に基づいて使用許諾されます。

お客様の環境によっては、資料中の円記号がバックスラッシュと表示されたり、バックスラッシュが円記号と表示されたりする場合があります。

原典： IBM i
IBM i
Programming Multithreaded Applications
Version 7.2

発行： 日本アイ・ビー・エム株式会社

担当： トランスレーション・サービス・センター

第1刷 2014.4

© Copyright IBM Corporation 1998, 2010.

目次

マルチスレッド・アプリケーション	1	マルチスレッド・プログラミング・テクニック	39
マルチスレッド・アプリケーションの PDF ファイル	1	既存のアプリケーションの評価	39
IBM i におけるスレッド	2	スレッド間の同期化テクニック	40
スレッドのモデル	2	一回限りの初期化とスレッド・セーフティ	56
スレッド・プログラムのモデル	2	スレッド専用のデータ	58
ジョブとジョブ・リソース	3	スレッド・セーフでない関数呼び出し	63
スレッド・プライベート・データ、スレッド固有データ、およびスレッド・ローカル記憶域	4	一般的なマルチスレッド・プログラミング・エラー	66
マルチスレッド・プログラム起動コマンド	5	言語アクセスとスレッド	70
活動化グループとスレッド	6	Java 言語でのスレッドの考慮事項	70
マルチスレッド・プログラミングでの通信についての考慮事項	7	ILE C および ILE C++ 言語でのスレッドの考慮事項	71
マルチスレッド・プログラミングでのデータベースについての考慮事項	8	ILE COBOL 言語でのスレッドの考慮事項	72
マルチスレッド・プログラミングでのデータ管理機能についての考慮事項	13	ILE RPG 言語でのスレッドの考慮事項	72
マルチスレッド・プログラミングでのファイル・システムについての考慮事項	15	OPM 言語でのスレッドの考慮事項	73
マルチスレッド・プログラミングでの印刷ファイルについての考慮事項	15	マルチスレッド・ジョブのデバッグとサービス	73
IBM i スレッド管理	16	スレッド関連データを報告するコマンド	73
スレッドの属性	16	フライト・レコーダー	74
スレッドを開始する	19	スレッド情報を表示するためのオプション	78
スレッドを終了する	21	マルチスレッド・ジョブのデバッグ	79
スレッドの取り消し	24	マルチスレッド・アプリケーションのテスト分野	80
スレッドを一時停止する	27	マルチスレッド・アプリケーションにおけるパフォーマンスの考慮事項	81
スレッドを再開する	29	マルチスレッド・サーバーに関する推奨事項	81
スレッドの終了を待機する	29	ジョブおよびスレッド優先順位	82
処理装置を別のスレッドに譲る	32	スレッドの競合	83
スレッド・セーフティ	33	スレッド・アプリケーションに対する記憶域プール・サイズの影響	83
記憶域の使用法とスレッド・アプリケーション	33	記憶域プールの活動レベル	83
ジョブを有効範囲とするリソースとスレッド・セーフティ	34	パフォーマンスおよびスレッド・アプリケーション	84
API スレッド・セーフティの分類	35	例: スレッド	84
CL コマンドとスレッド・セーフティ	36	マルチスレッド・アプリケーションの関連情報	85
アクセスを拒否する関数とスレッド・セーフティ	37	特記事項	87
出口点	38	プログラミング・インターフェース情報	89
		商標	89
		使用条件	89

マルチスレッド・アプリケーション

スレッドとは、実行時にプログラムの必要とするパス、実行されるステップ、およびそれらのステップが実行プログラムによって実行される順序のことです。

スレッドという語は、「制御スレッド」を短縮したものです。スレッドは、コードをその開始位置から、特定の入力に対してあらかじめ定義された手順に従って順番通りに実行していきます。複数のスレッドを使用して、異なるアプリケーション・タスクを同時に実行することによって、アプリケーションのパフォーマンスを改善することができます。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

マルチスレッド・アプリケーションの PDF ファイル

この情報の PDF ファイルを表示または印刷できます。

PDF 版をダウンロードし、表示するには、「マルチスレッド・アプリケーション」を選択します。

PDF ファイルの保存

表示または印刷のために PDF をワークステーションに保存するには、以下のようになります。

1. ご使用のブラウザで PDF リンクを右クリックする。
2. PDF をローカルに保存するオプションをクリックする。
3. PDF を保存したいディレクトリーに進む。
4. 「保存」をクリックする。

Adobe Reader のダウンロード

これらの PDF を表示したり印刷したりするには、システムに Adobe Reader がインストールされている必要があります。これは、「Adobe Web サイト」

(www.adobe.com/products/acrobat/readstep.html)  から無料でダウンロードできます。

関連資料:

85 ページの『マルチスレッド・アプリケーションの関連情報』製品マニュアル、Web サイト、および他の Information Center トピック・コレクションは、マルチスレッド・アプリケーション・トピック・コレクションに関連した情報を含みます。以下の PDF ファイルのいずれも表示または印刷できます。

IBM i におけるスレッド

どのようなプログラムでも、初期スレッドと呼ばれる少なくとも 1 つのスレッドを持ちます。複数のスレッドを持つプログラムの場合、各スレッドは、プログラム内の他のスレッドと無関係にそれぞれのコードを実行します。

プロセスとは、プログラムのメモリーおよびリソースのコンテナとなるものです。IBM® i プラットフォームでは、ジョブがプロセスに当たります。各プロセスには、プログラムがそのコードを実行するスレッド (タスク) が少なくとも 1 つあります。プロセス内の最初のスレッドのことを初期スレッドといいます。一部のプロセスではさらにいくつかのスレッドをサポートできますが、それらのことを 2 次スレッドといいます。

ここで説明する概念は、すべてのプログラミング言語に関係しています。それぞれの言語でこの概念がどのように実現されているかについては、各言語のプログラマーの手引きを参照してください。

スレッドのモデル

スレッドの使用方法には、ユーザー・スレッドとカーネル・スレッドという異なるモデルがあります。

ユーザー・スレッド・モデルでは、すべてのプログラム・スレッドが同じプロセス・スレッドを共有します。ユーザー・スレッド・モデルでは、スレッドのアプリケーション・プログラミング・インターフェース (API) によってスケジューリング・ポリシーが常に適用され、新しいスレッドがいつ実行されるかが決まります。そのスケジューリング・ポリシーでは、1 つのプロセスの中でアクティブに実行できるのは一度に 1 つのスレッドだけです。オペレーティング・システム・カーネルは、プロセスの中で 1 つのタスクしか認識しません。

カーネル・スレッド・モデルの場合、カーネル・スレッドは 1 つのプロセスに関連する個別のタスクです。カーネル・スレッド・モデルでは、プリエンティブ・スケジューリング・ポリシーが使われ、処理装置の共有権がどのスレッドに与えられるかがオペレーティング・システムによって決定されます。カーネル・スレッド・モデルでは、プログラム・スレッドとプロセス・スレッドとが 1 対 1 に対応しています。IBM i オペレーティング・システムはカーネル・スレッド・モデルをサポートしています。

プラットフォームによっては、これらの 2 つのスレッド・モデルの組み合わせがサポートされており、これを通常 MxN スレッド・モデルといいます。各プロセスには、N 個のカーネル・スレッドを共有する M 個のユーザー・スレッドが含まれます。ユーザー・スレッドは、カーネル・スレッドより優先してスケジューリングされます。システムは、比較的「コストがかかる」カーネル・スレッドにのみリソースを割り振ります。

スレッド・プログラムのモデル

マルチスレッド・プログラムの作成には、いくつかのモデルがあります。

IBM i オペレーティング・システムと他のオペレーティング・システムとの大きな違いの 1 つは、IBM i ではコール/リターン・プログラム・モデルがサポートされ

るということです。その他のプラットフォームでは、あるプログラムが別のプログラムを呼び出す必要がある場合、第 2 のプログラムの実行のために第 2 のプロセスを開始しなければならないか、または最初のプログラムを第 2 のプログラムで置き換えなければなりません。プログラムを呼び出すために別のプロセスを開始することは、起動時間およびシステム・リソースの点でコストがかかります。そのようなコストを省くために、プログラマーは、よく使う機能をいくつかのダイナミック・リンク・ライブラリー (DLL) に分類します。DLL が提供するサービスがプログラムで必要になった場合、その DLL をロードして、そのサービスを提供する機能を呼び出します。

マルチスレッド・プログラムのために IBM i のコール/リターン・プログラム・モデルがサポートされていますが、可能な限り、呼び出し元の活動化グループで実行されるサービス・プログラムまたは DLL を使うようにしてください。マルチスレッド・プログラムを他のプラットフォームから移植する場合、移植時にそのサービス・プログラムも使うことになるからです。

必須ではありませんが、マルチスレッド・アプリケーションで使用するすべてのプログラムは、Integrated Language Environment® (ILE) プログラムにしてください。オリジナル・プログラム・モデル (OPM) をマルチスレッド・プログラムで使う場合は、特別な考慮が必要になります。マルチスレッド・プログラムが既存の ILE または OPM プログラムを呼び出す場合は、それらの既存のプログラムのスレッド・セーフティーを評価する必要があります。

関連資料:

73 ページの『OPM 言語でのスレッドの考慮事項』

オリジナル・プログラム・モデル (OPM) プログラムは、スレッド・セーフではありません。マルチスレッド・アプリケーションが呼び出す前に、OPM プログラムを Integrated Language Environment (ILE) にマイグレーションし、スレッド・セーフにしておく必要があります。

ジョブとジョブ・リソース

ジョブ は、記憶域などのリソースのコンテナとなるもので、単独では実行できません。ジョブ・リソースとは、ジョブ内のすべてのスレッドからアクセスできるリソースのことです。

すべてのジョブには、2 種類の基本的な記憶域が関連しています。

データ:

データは、すべてのプログラム変数が保管される場所です。これは、グローバル変数と静的変数のための記憶域 (静的)、スレッド・ローカル記憶域 (TLS)、動的割り振り記憶域のための記憶域 (ヒープ)、および関数のローカル変数のための記憶域 (自動) に分かれています。プログラム変数のための記憶域は、プログラムが活動化された活動化グループから割り振られます。静的記憶域には、その活動化グループで実行されている、すべてのスレッドからアクセスできます。スレッド・ローカル記憶域と自動記憶域は、他のスレッドからはアクセスできません。ヒープ記憶域へのアクセスはヒープ記憶域ポインターの記憶域タイプに依存します。

スタック:

スタックには、スレッド内のプログラムまたはプロシーチャーの呼び出しフ

ローについてのデータが入れられます。スタックは、スレッド・ローカル記憶域および自動記憶域と共に、各スレッドの作成時に割り振られます。スタック、スレッド・ローカル記憶域、および自動記憶域がスレッドによって使われる場合、それらはスレッドのリソースと見なされます。スレッドが終了した時点で、それらのリソースはプロセスに戻され、それ以降は別のスレッドによって使用可能になります。

ジョブ・リソースは、以下の通りです。

- コード化文字セット ID (CCSID)
- ロケール
- 環境変数
- ファイル記述子
- ジョブの範囲でオープンされるファイル
- シグナル・アクション・ベクトル
- シグナル・タイマー
- 現行作業ディレクトリー

活動化グループ内で実行されるすべてのスレッドは、活動化グループのリソース (静的およびヒープ記憶域など) を共有できます。あるスレッドがジョブのリソースを変更すると、新しい値はただちにすべてのスレッドから可視になります。例えば、1 つのスレッドでシグナル処理アクションを変更すれば、全スレッドに渡ってシグナル処理アクションを効率よく変更することができます。

スレッド・プライベート・データ、スレッド固有データ、およびスレッド・ローカル記憶域

特定のリソースは、複数のスレッドで共有できません。スレッド間で共有できないデータは、スレッド・プライベート・データと呼ばれます。スレッド間で共有できないデータは、スレッド固有データ または スレッド・ローカル記憶域 のどちらかを使用して定義できます。

IBM i オペレーティング・システムは、以下のリソースをスレッド・プライベート・データとして定義します。

- スレッド ID

スレッドを識別するために使う固有の整数値。

- 優先順位

IBM i では、ジョブ内のあるスレッドについて、スレッド同士の相対的な重要性を決定する優先順位を指定できます。スレッド優先順位は、ジョブの優先順位に対する差分値となるように定義されます。IBM i では、スレッドの優先順位はジョブの優先順位に加算され、その結果はジョブの優先順位を越えることはできません。ジョブの優先順位が調整される場合、スレッドの優先順位はその新しいジョブの優先順位に対する相対値に調整されます。スレッド優先順位のデフォルト値は 0、つまりジョブと同じ優先順位です。

- セキュリティ情報

セキュリティー情報は、ユーザー・プロファイルおよびグループ・プロファイルも含め、スレッドごとに保持されます。スレッドが新しいスレッドを作成すると、新しいスレッドはそれを作成したスレッドからセキュリティー情報を継承します。

- ライブラリー・リスト

ライブラリー・リスト情報は、スレッドごとに保持されます。スレッドが新しいスレッドを作成すると、新しいスレッドはそれを作成したスレッドからライブラリー・リスト情報を継承します。

- シグナル・ブロッキング・マスク

シグナル・ブロッキング・マスクは、スレッドに配布されないようにする一連の非同期シグナルを識別するものです。スレッドが新しいスレッドを作成すると、新しいスレッドはそれを作成したスレッドのシグナル・ブロッキング・マスクを継承します。

- 呼び出しスタック

呼び出しスタックには、スレッド内のプログラム・フローまたはプロシーチャーの呼び出しフローについてのデータが入れます。スタックは、自動記憶域と共に、各スレッドの作成時に割り振られます。

- 自動記憶域

自動記憶域は、関数のローカル変数のためのものです。

- `errno` 変数

このプログラム変数は、C または POSIX システム呼び出しの結果を戻すために使用されます。`errno` は、スレッド内の関数呼び出しの最後の結果を戻す関数呼び出しです。

スレッド固有データはスレッド・プライベート・データとは異なっています。スレッド・プライベート・データは、スレッドの実装によって定義されますが、スレッド固有データはアプリケーションによって定義されます。スレッドはスレッド固有記憶域を共有しませんが (1 つのスレッドに固有)、そのスレッド内のすべての関数からアクセスできます。通常は、キーによってスレッド固有記憶域に索引が付けられます。キーとは、すべてのスレッドから見えるグローバル値のことです。キーは、そのキーに関連付けられている記憶域のスレッド固有値を取り出すために使われます。

スレッド・ローカル記憶域を使用して定義されるデータは、スレッド固有データに似ています。スレッドはスレッド・ローカル記憶域を共有しませんが、スレッド内のすべての関数からそのスレッドの記憶域にアクセスできます。スレッド・ローカル記憶域は言語環境によって管理され、スレッド固有データはアプリケーションによって管理される点で、スレッド・ローカル記憶域はスレッド固有データとは異なります。

マルチスレッド・プログラム起動コマンド

マルチスレッド Integrated Language Environment (ILE) プログラムを呼び出すためには、プログラムを呼び出すジョブが、マルチスレッドをサポートしていなければなりません (マルチスレッド可能)。マルチスレッド Java™ プログラムは、たいいてい

のジョブで呼び出すことができます (一部のシステム・ジョブは、呼び出すことができるプログラムのタイプを制限しています)。

IBM i カーネル・スレッド・サポートでは、サポートされるジョブ・タイプのうち一部分でしかスレッドを作成できません。対話式ジョブおよび通信ジョブは、マルチスレッド対応サポートを提供していません。

ジョブでマルチスレッドをサポートできるかどうかは、**ジョブ記述の作成**

(CRTJOB) コマンドと**ジョブ記述の変更 (CHGJOB)** コマンドの**マルチスレッド許可 (ALWMLTTHD)** パラメーターによって制御されます。IBM i では、通信ジョブと対話式ジョブを除くすべてのタイプのジョブに関して、**ALWMLTTHD** パラメーターが調べられます。**事前開始ジョブ項目の追加 (ADDPJE)** および**事前開始ジョブ項目の変更 (CHGPJE)** の 2 つのサブシステム記述ジョブ入力コマンドでは、その項目のジョブ記述に含まれている **ALWMLTTHD** 設定値を使うことによって、その項目によって開始されるジョブでマルチスレッドがサポートされるかどうかを制御されます。

spawn() API のプロセス生成 (Spawn Process) では、継承構造体の中で、子プロセスがマルチスレッドをサポートするように作成されるかどうかを制御するフラグ・フィールドがサポートされています。そのフラグ・フィールド

SPAWN_SETTHREAD_NP は、継承構造体に対する非標準の IBM i プラットフォーム固有の拡張機能です。spawn() API は、マルチスレッドをサポートするバッチ即時ジョブ、または事前開始ジョブを開始できる唯一のプログラミング手法です。

CALL コマンドとよく似た **SPAWN** コマンドを使うことによって、マルチスレッド・プログラムを簡単に呼び出すことができます。**SPAWN** コマンド例は、IBM i オプション 7、IBM i 例題ツール・ライブラリー、QUSRTOOLS の一部として提供されており、それを使用または修正することができます。

活動化グループとスレッド

すべてのプログラムおよびサービス・プログラムは、活動化グループと呼ばれるジョブの副構造の中で活動化されます。この副構造には、静的記憶域とヒープ記憶域、および一時データ管理リソースを含め、プログラムを実行するために必要なリソースが含まれています。

マルチスレッド可能ジョブでは、2 つ以上のスレッドで活動化グループを共用できます。1 つのスレッドで、異なる活動化グループが作成したいろいろなプログラムを実行できます。システムには、活動化グループ内で実行されるスレッドのリストもスレッド内の活動化グループのリストも保持されていません。活動化グループ内のスレッドが活動状態であるにもかかわらず、活動化グループを終了すると、ジョブが異常終了したりするなど、予期できない結果になる可能性があります。このような問題を避けるため、IBM i 6.1 およびそれ以前のリリースでは、2 次スレッドで活動化グループを終了するアクションが実行されると、システムはジョブを通常の方法で終了します。つまり、ジョブ内のすべてのスレッドを終了し、初期スレッドから **EXIT** (出口) ルーチンおよび **C++** デストラクターを呼び出し、最後にファイルをクローズします。IBM i 7.1 以降では、終了される活動化グループが複数のスレッドで活動状態である場合にのみ、ジョブが終了します。活動化グループは、スレッドの呼び出しスタックに 1 つ以上の呼び出しがある場合に、スレッドで活動状態であると見なされます。

活動化グループを処理するときは、以下の考慮事項に注意してください。

- 活動化グループからの戻り

ACTGRP(*NEW) で作成されたプログラムは、呼び出されるたびに、新しい活動化グループを起動します。プログラムが戻ると、新しい活動化グループは終了します。

デフォルト活動化グループと ユーザー名付き活動化グループは、両方とも永続的です。デフォルト活動化グループは、ジョブ開始時に作成され、ジョブ終了時まで破棄されません。ユーザー名付き活動化グループは、ジョブ内で最初に必要になった時点で作成されます。ユーザー名付き活動化グループから正常に戻った場合、活動化グループは、最後に使用された状態のまま、終了しません。

- 終了 verb

`exit()` や `abort()` のような高水準言語 (HLL) の終了 verb が呼び出され、最も近い制御境界がプログラムの 1 次入り口点である場合、活動化グループは終了します。最も近い制御境界がプログラムの 1 次入り口点でない場合、活動化グループは終了しません。

注: IBM i 6.1 およびそれ以前のリリースでは、活動化グループが終了しなくても、HLL 終了 verb が 2 次スレッドから呼び出されると、ジョブは常に終了します。

- 未処理の例外

例外が制御境界にパーコレートされるまで処理されず、制御境界が活動化グループで最も古い呼び出しスタック・エントリーである場合、活動化グループは終了します。

- 活動化グループの再利用 (RCLACTGRP)

マルチスレッド操作が可能なジョブでは、ジョブの初期スレッドでのみ、このコマンドを呼び出すことができます。ジョブに 2 次ユーザー・スレッドが存在する場合、このコマンドは、CPF180B エスケープ・メッセージをこのコマンドの発呼者に送信します。

関連概念:

33 ページの『スレッド・セーフティー』

ある関数がスレッド・セーフであるのは、同一プロセス内の複数のスレッドで同時にその関数を開始できる場合です。ある関数がスレッド・セーフであるのは、その関数から呼び出されるすべての関数がスレッド・セーフである場合のみです。

マルチスレッド・プログラミングでの通信についての考慮事項

IBM i オペレーティング・システムでサポートされている、唯一のスレッド・セーフな通信プロトコルはソケットです。

ソケットを使う場合、以下の制限事項があります。

- ソケット API:

ソケットのインターフェースの多くはスレッド・セーフティーですが、ネットワーク・ルーチンのほとんどは静的記憶域を使用するようにはなっていません。それらのルーチンは、スレッド・セーフティーの「_r」のもので置き換えられています。例えば、`gethostbyaddr()` の呼び出しは、`gethostbyaddr_r()` に置き換えてくだ

さい。「_r」ルーチンは、UNIX 定義と互換性があります。すべての「_r」関数は、既存のサービス・プログラム QSOSRV2 の中にあります。

- ソケットを使う AnyNet®:

ソケットを使う AnyNet は、スレッド・セーフであると見なされ、マルチスレッド・プログラムでサポートされています。しかし、このサポートは公式のテストを受けていません。

マルチスレッド・プログラミングでのデータベースについての考慮事項

マルチスレッド・プログラムでデータベースを使用するときは、これらの考慮事項に注意してください。

- データ定義言語 (DDL)

データベースの構成、管理、およびセットアップ・タイプのインターフェースの多くはスレッド・セーフティです。スレッド・セーフティであるデータベース操作には、ファイルの作成 (**Create File**)、メンバーの追加 (**Add Member**)、ファイルの削除 (**Delete File**)、メンバーの除去 (**Remove Member**) が含まれます。コマンドがスレッド・セーフティであるかどうかを判断するには、CL 解説書を参照するか、または**コマンドの表示 (DSPCMD)** コマンドを使用してください。そのコマンドのオンライン・ヘルプ情報には、コマンドに適用されるスレッド・セーフティの必要条件がリストされています。

- データベース・レコードの入出力

データベースは、操作 (読み取り、更新、挿入、または削除) の間、入出力操作を保護します。ファイルのオープン・インスタンスをスレッド間で共用する場合、入出力フィールドバック域と入出力バッファへのアクセスを逐次化することによって、それらの領域に含まれる有効な情報が参照されるようにする必要があります。それらの領域はアプリケーション制御下にあり、データベース操作完了後にデータベースによって保護することはできません。

例として、読み取り操作があります。スレッド 1 が読み取り操作の処理中で、スレッド 2 がそれと同じオープン・インスタンスに対して入出力操作を実行する場合、スレッド 2 はスレッド 1 が読み取りを完了するまで待機します。スレッド 1 の読み取り操作の結果は、入出力バッファに入れられます。制御がスレッド 1 に戻ると、スレッド 2 はその入出力操作を開始します。逐次化が行われない場合、スレッド 1 で結果が得られる前に、スレッド 2 が入出力バッファの情報を変更してしまう可能性があります。

ファイルのオープン・インスタンスをスレッド間で共用しない場合、逐次化は必要ありません。

- 分散ファイル

DB2® Multisystem で使用する分散データベース・ファイルへのアクセス、およびタイプ *SNA の分散データ管理 (DDM) ファイルへのアクセスは、スレッド・セーフティではありません。このタイプのデータベース・ファイルへのアクセスは、マルチスレッド可能ジョブでは拒否されます。システム間通信機能 (ICF) ファイルと SNA 層全体はスレッド・セーフティではないため、分散ファイルの

ファイル・タイプをスレッド・セーフティーにすることはできません。それらのファイル・タイプの 1 つに対してオープンが試行されると、そのファイルをオープンしようとした関数に対して、CPF4380 メッセージ (マルチスレッド・プロセスで無効なオープン属性) が送られます。

- トリガー・プログラム

マルチスレッド・ジョブでは、トリガー・プログラムを呼び出すことができます。トリガー・プログラムに適用されるスレッド・セーフティーに関する制限は、マルチスレッド・ジョブで実行されるその他のすべてのコードに適用されるものと同じです。物理ファイル・トリガーの追加 (ADDPFTRG) コマンド上のパラメーターにより、トリガーのスレッド・セーフティー状況、およびトリガーがマルチスレッド・ジョブ内で呼び出された場合にとるべき処置を指定することができます。

- 様式選択プログラム

複数の様式を持つ論理ファイルの場合、様式選択プログラムの使用は、スレッド・セーフティーではありません。マルチスレッド・ジョブでは、様式選択プログラムを使用しないでください。

- ストアード・プロシージャ

DB2 構造化照会言語 (SQL) ストアード・プロシージャ・サポートにより、SQL アプリケーションは SQL ステートメントを介して外部プログラムを定義して呼び出すことができます。ストアード・プロシージャは、マルチスレッド・ジョブの中で呼び出すことができます。ストアード・プロシージャに適用されるスレッド・セーフティーに関する制限は、マルチスレッド・ジョブで実行されるその他のすべてのコードに適用されるものと同じです。トリガー・プログラムと違って、ストアード・プロシージャのスレッド・セーフティー状況、およびストアード・プロシージャがマルチスレッド・ジョブで呼び出された場合にとるべき処置を指定する方法はありません。

- SQL ステートメント

DDL SQL ステートメントの使用はスレッド・セーフティーでない場合があります。データ操作言語 (DML) ステートメントはスレッド・セーフティーです。

- SQL 用のサーバー・モード

マルチスレッド・アプリケーションを使って、データベースにアクセスするための望ましい方法は、SQL 用のサーバー・モードを使用することです。ジョブは、複数のデータベース接続およびトランザクションを管理するために、SQL 用のサーバー・モードを使用することができます。アプリケーションが SQL 用のサーバー・モードを使用する時、IBM i オペレーティング・システムはジョブ内接続を使用します。これは以前の IBM i で可能であったよりさらにカプセル化した形式で、現行のデータベース・コンテキストを表現するものです。これにより、複数のユーザーによるデータベースへの接続、同一のまたは異なるユーザーによるデータベースへの複数の接続、およびデータベースへの接続による複数の独立したトランザクションの存在が可能になります。

アプリケーションがデータにアクセスする前に、以下のメカニズムのいずれかを使用して、SQL 用のサーバー・モードを活動化してください。

- データ・アクセスが行われる前に、Open Database Connectivity (ODBC) API の `SQLSetEnvAttr()` を使用し、`SQL_ATTR_SERVER_MODE` 属性を `SQL_TRUE` に設定する。
- データ・アクセスが行われる前に、ジョブの変更 API の `QWTCHGJB()` を使用し、「Server mode for Structured Query Language」キーを設定する。
- Java Database Connectivity (JDBC) を使用して、データベースにアクセスします。JDBC は、JDBC の必須のセマンティクスを確保するために自動的にサーバー・モードを使用します。

SQL 用のサーバー・モードは、以下のように動作します。

- 組み込み SQL の場合、ジョブ内の各スレッドは、そのスレッド内に複数の接続がある場合でさえ、コミットまたはロールバックできる別々のトランザクションです。
- ODBC、呼び出しレベル・インターフェース (CLI)、および JDBC の場合、それぞれの結合ハンドルは、データベースへの独立した接続を表し、別々のエンティティとしてコミットおよび使用できます。

SQL 用の CLI はスレッド・セーフです。

- **コミット可能トランザクション**

スレッドを導入しても、コミット可能トランザクションの有効範囲は変わりません。コミット可能作業単位の有効範囲は、ジョブ・レベルのコミットメント定義または活動化グループ・レベルのコミットメント定義のいずれかにすることができます。スレッド・コミット操作またはロールバック操作は、コミットメント定義の下で実行されるすべての操作をコミットまたはロールバックします。各スレッド (または複数のスレッドでなるグループ) ごとに別個のコミット可能トランザクションが必要なアプリケーションでは、SQL 用のサーバー・モードを使用するか、別個の活動化グループによってそれらのトランザクションを管理しなければなりません。

関連概念:

制御言語

スレッド

SQL コール・レベル・インターフェース

関連資料:

69 ページの『データベース・レコードの入出力とスレッド・セーフティ』
データベース・ファイルの入出力フィードバック領域を使って、入出力操作の結果をレコード入出力ユーザーに通知することができます。通常のアプリケーションでは、フィードバック領域の特性のためにスレッド・セーフティの問題が生じるかもしれません。

38 ページの『出口点』

IBM i 登録機能を使用して、アプリケーション内の関数の出口点を定義し、それらの出口点で実行するプログラムを登録することができます。

69 ページの『マルチスレッド・プログラムでのコミット操作』

IBM i オペレーティング・システムでのデータベース・トランザクションは、ジョブまたは活動化グループのいずれかに限定されます。

例: ローカル SQL データベースの処理 (マルチスレッド Pthread プログラム)

この例では、組み込み SQL をスレッド ILE C プログラム内でどのように使用できるかを説明しています。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/******  
/* Testcase: SQLEXAMPLE */  
/* */  
/* Function: */  
/* Demonstrate how Embedded SQL can be used within a */  
/* threaded ILE C program. This program creates and */  
/* populates an SQL Table with data. Then, threads are */  
/* created which each open a cursor and read all the */  
/* data from the table. A semaphore is used to show */  
/* how threads execution can be controlled. */  
/* */  
/* To compile program: */  
/* CRTSQLCI OBJ(QGPL/SQLEXAMPLE) SRCFILE(QGPL/QCSRC) */  
/* COMMIT(*NONE) RDB(*NONE) OBJTYPE(*MODULE) */  
/* OUTPUT(*PRINT) DBGVIEW(*SOURCE) */  
/* */  
/* To bind program: */  
/* CRTPGM PGM(QGPL/SQLEXAMPLE) */  
/* MODULE(QGPL/SQLEXAMPLE) ACTGRP(*CALLER) */  
/* */  
/* To invoke program: */  
/* SPAWN QGPL/SQLEXAMPLE */  
/* */  
/******  
#define _MULTI_THREADED  
#include <pthread.h>  
#include <sys/sem.h>  
#include <sys/types.h>  
#include <fcntl.h>  
#include <stdio.h>  
#include <unistd.h>  
  
static int semid;  
static struct sembuf op_try1[1] = {0,0,0};  
#define MAXTHREADS 2  
  
void *threadrtn(void *parm);  
  
int main(int argc, char **argv)  
{  
    int rc;  
    int *status;  
    pthread_t thids[MAXTHREADS];  
    EXEC SQL BEGIN DECLARE SECTION;  
    int i, j;  
    char insert[200];  
    EXEC SQL END DECLARE SECTION;  
  
    EXEC SQL INCLUDE SQLCA;  
    EXEC SQL INCLUDE SQLDA;  
  
    /* create a new semaphore */  
    semid=semget(IPC_PRIVATE,1,S_IRUSR|S_IWUSR);  
  
    printf("\nsemaphore created\n");  
    rc=semctl(semid, 0, SETVAL, 1);
```

```

printf("semaphore initied\n");
EXEC SQL WHENEVER SQLERROR CONTINUE;
EXEC SQL CREATE TABLE QGPL/SQLEXMP (COL1 INT,COL2 INT);

printf("SQL table created\n");
EXEC SQL WHENEVER SQLERROR GO TO :mainerror;

for (i=1,j=100;i<10;i++,j++) {
    (void) sprintf(insert, "INSERT INTO QGPL/SQLEXMP \
        VALUES(%d, %d)", i, j);
    EXEC SQL EXECUTE IMMEDIATE :insert;
}

printf("Table primed with data\n");
for (i=0;i<MAXTHREADS;i++) {
    pthread_create(&thids[i], NULL, threadrtn, NULL);
}
printf("Threads created\n");

rc=semctl(semid, 0, SETVAL, 0);

printf("Threads turned loose\n");
for (i=0;i<MAXTHREADS;i++) {
    pthread_join(thids[i], &status);
}

printf("Threads joined\n");
return;

mainerror:
    printf("ERROR: sqlcode = %d sqlstate = %d\n", SQLCODE, SQLSTATE);
}

/*****
/* This thread will do the following:
/* - Declare a cursor for the example table
/* - Block on a semaphore until initial thread
/*   is ready for us to run
/* - Open the cursor
/* - Fetch data one row at a time in a loop until
/*   End of File is reached or an error occurs
/* - Close the cursor and return
*****/
void *threadrtn(void *parm)
{
    EXEC SQL INCLUDE SQLCA;
    EXEC SQL INCLUDE SQLDA;

    EXEC SQL BEGIN DECLARE SECTION;
    long HV1, HV2;
    EXEC SQL END DECLARE SECTION;

    EXEC SQL WHENEVER SQLERROR GO TO :thderror;
    EXEC SQL WHENEVER NOT FOUND GO TO :thdeof;

    EXEC SQL DECLARE C1 CURSOR FOR SELECT * FROM QGPL/SQLEXMP;

    /* block on semaphore */
    semop(semid,&op_try1[0],1);

    EXEC SQL OPEN C1;
    printf("thid:%.8x %.8x: cursor open\n",pthread_getthreadid_np());

    /* Loop until End of File (EOF) */
    for (;;) {
        EXEC SQL FETCH C1 INTO :HV1, :HV2;

```

```

        printf("thid:%.8x %.8x: fetch done... COL1=%d COL2=%d\n",
               pthread_getthreadid_np(), HV1, HV2);
    }

thderror:
    printf("thid:%.8x %.8x: sqlcode = %d sqlstate = %d\n",
           pthread_getthreadid_np(), SQLCODE, SQLSTATE);
    EXEC SQL CLOSE C1;
    return;

thdeof:
    printf("thid:%.8x %.8x: Done!\n",
           pthread_getthreadid_np());
    return;
}

```

```

Testcase output:
semaphore created
semaphore initd
SQL table created
Table primed with data
Threads created
Threads turned loose
thid:00000000 00000022: cursor open
thid:00000000 00000023: cursor open
thid:00000000 00000023: fetch done... COL1=1 COL2=100
thid:00000000 00000022: fetch done... COL1=1 COL2=100
thid:00000000 00000023: fetch done... COL1=2 COL2=101
thid:00000000 00000022: fetch done... COL1=2 COL2=101
thid:00000000 00000023: fetch done... COL1=3 COL2=102
thid:00000000 00000022: fetch done... COL1=3 COL2=102
thid:00000000 00000023: fetch done... COL1=4 COL2=103
thid:00000000 00000022: fetch done... COL1=4 COL2=103
thid:00000000 00000023: fetch done... COL1=5 COL2=104
thid:00000000 00000022: fetch done... COL1=5 COL2=104
thid:00000000 00000023: fetch done... COL1=6 COL2=105
thid:00000000 00000022: fetch done... COL1=6 COL2=105
thid:00000000 00000023: fetch done... COL1=7 COL2=106
thid:00000000 00000022: fetch done... COL1=7 COL2=106
thid:00000000 00000023: fetch done... COL1=8 COL2=107
thid:00000000 00000022: fetch done... COL1=8 COL2=107
thid:00000000 00000023: fetch done... COL1=9 COL2=108
thid:00000000 00000022: fetch done... COL1=9 COL2=108
thid:00000000 00000023: Done!
thid:00000000 00000022: Done!
Threads joined

```

マルチスレッド・プログラミングでのデータ管理機能についての考慮事項

マルチスレッド・プログラムでデータを管理するときは、これらの考慮事項に注意してください。

- ファイルのオープン操作

マルチスレッド可能ジョブでオープンできるのは、統合ファイル・システム・ストリーム・ファイル、印刷ファイル、およびタイプ *IP の分散データ管理 (DDM) ファイル、およびローカル・データベース・ファイルだけです。印刷ファイル、タイプ *IP DDM ファイル、またはローカル・データベース・ファイル以外の *FILE オブジェクトをオープンしようとする、ファイルをオープンしようとする関数に対して CPF4380 エスケープ・メッセージが送られます。この

CPF4380 エスケープ・メッセージは、マルチスレッド・プロセスのオープン属性が無効であることを知らせるものです。ローカル・データベース・ファイルには、物理ファイルと論理ファイルが含まれます。疎結合並列 (LCP) ファイルはローカルでなく、関数がファイルをオープンしようとする、CPF4380 エスケープ・メッセージを送ります。ローカル・データベース・ファイルには、装置ファイルやその他の通信ファイルである保管ファイル (*SAVF) も含まれません。SPOOL(*NO) を指定して印刷ファイルをオープンすることもできません。印刷ファイルのオープンで SPOOL(*NO) を指定すると、印刷ファイルをオープンしようとした関数に、CPF4380 エスケープ・メッセージが送られます。

マルチスレッド可能ジョブでは、共用オープンが可能です。しかし、オープン・データ・パス (ODP) をスレッド間で共用することはできません。ファイルが SHARE(*YES) でオープンされており、OPNSCOPE(*ACTGRPDFN) が指定されている場合、同じ活動化グループで実行中の同じスレッドにある後続の共用オープンは ODP を共用できます。ファイルが SHARE(*YES) でオープンされており、OPNSCOPE(*JOB) が指定されている場合、同じスレッドにあるファイルの後続の共用オープンは ODP を共用できます。

- ファイル指定変更

マルチスレッド・アプリケーションは、初期スレッドでしか一時変更を発行できません。2 次スレッドで一時変更を発行しようとする、CPF180C エスケープ・メッセージが戻されます。ジョブ・レベルおよび活動化グループ・レベルの有効範囲の一時変更だけが 2 次スレッドに影響を与えます。呼び出しレベルの有効範囲の一時変更は不可視です。すべての有効範囲レベルの一時変更は、初期スレッドに影響を与えます。使用できるファイル一時変更コマンドは、データベース・ファイルによる一時変更 (OVRDBF)、プリンター・ファイルによる一時変更 (OVRPTF)、およびメッセージ・ファイルによる一時変更 (OVRMSGF) の 3 種類です。

一時変更の削除 (DLTOVR) コマンドを呼び出すことによって、初期スレッドにおける一時変更を削除することができますが、2 次スレッドにおける一時変更を削除することはできません。2 次スレッドにおける一時変更を削除すると、DLTOVR は、CPF180C エスケープ・メッセージを戻します。

- リソース再利用コマンド

IBM i オペレーティング・システムはリソースをトラッキングしないため、リソース再利用コマンドは、いずれもスレッド・セーフではありません。オペレーティング・システムでは、どのリソースがどのスレッドによって使用中であるかは識別できません。2 次スレッドで、資源再利用 (RCLRSC) コマンドと、活動化グループ再利用 (RCLACTGRP) コマンドを呼び出すことはできません。RCLRSC および RCLACTGRP は、2 次ユーザー・スレッドが存在しない場合、マルチスレッド可能ジョブの初期スレッド (ALWMLTTHD(*YES)) で呼び出すことができます。ジョブに 2 次ユーザー・スレッドが存在する場合、これらのコマンドは、CPF180B エスケープ・メッセージをこのコマンドへの発呼者に送信します。

関連資料:

15 ページの『マルチスレッド・プログラミングでの印刷ファイルについての考慮事項』

マルチスレッド可能ジョブで使えるのは、SPOOL(*YES) でオープンされた印刷ファ

イルだけです。

マルチスレッド・プログラミングでのファイル・システムについての考慮事項

マルチスレッド・プログラムでファイル・システムを処理するときは、これらの考慮事項に注意してください。

- スレッド・セーフティー・ファイル・システム

"root" (/)、QOpenSys、ユーザー定義 (UDFS)、QNTC、QSYS.LIB、QOPT、NFS、および QFileSvr.400 の各ファイル・システムは、スレッド・セーフであり、何も制限はありません。QDLS ファイル・システムはスレッド・セーフではありません。スレッド・セーフティーではないファイル・システムの、オブジェクトを表すファイルまたはファイル記述子に対して、統合ファイル・システム・アプリケーション・プログラミング・インターフェース (API) またはコマンドを使おうとしたりすると、エラー ENOTSAFE で終了します。このエラーは、1 つのジョブ内に複数のスレッドがある場合にのみ発生します。

現行作業ディレクトリを継承している場合、またはスレッド・セーフティーではないファイル・システムのファイルを表すファイル記述子をオープンする場合に、マルチスレッドのジョブからプログラムを生成しようとする、それはエラーとなり、ENOTSAFE が出されます。

- 統合ファイル・システム API

スレッド・セーフティー・ファイル・システムに存在するオブジェクトを対象とする場合、統合ファイル・システム API はすべてスレッド・セーフティーです。オブジェクトが存在している場所のファイル・システムがわからない場合は、パスを照会して、統合ファイル・システムのスレッド・セーフティー・インターフェースから安全にアクセスできるかどうかを確認できます。

pathconf()、fpathconf()、statvfs()、および fstatvfs() の各 API を使えば、あるパスまたはファイル記述子がいずれかのスレッド・セーフティー・ファイル・システムのオブジェクトを参照しているかどうかを判別できます。

関連資料:

統合ファイル・システム API

マルチスレッド・プログラミングでの印刷ファイルについての考慮事項

マルチスレッド可能ジョブで使えるのは、SPOOL(*YES) でオープンされた印刷ファイルだけです。

印刷ファイルをスプールしないでオープンすると、エラーとなり、オープンを要求した関数に CPF4380 (マルチスレッド・プロセスで無効なオープン属性) エスケープ・メッセージが送信されます。

ほとんどの SNA 文字ストリング (SCS)、Intelligent Printer Data Stream (高機能プリンター・データ・ストリーム: IPDS)、Advanced Function Printing データ・ストリーム (拡張印刷データ・ストリーム: AFPDS)、LINE、および USERASCII 書き込み操作は、スレッド・セーフティーです。スレッド・セーフティーでない書き込み操

作には、SCS グラフィックスを使用するもの、システム/36 環境で使用するもの、ユーザー・インターフェース管理機能 (UIM) によって生成されたもの、およびシステム/36 PRPQ サブルーチンを使用するものがあります。ページ・カウントおよび行カウントのカウンターは自動的に更新できないので、これらのカウントは不正確な場合があります。

関連資料:

13 ページの『マルチスレッド・プログラミングでのデータ管理機能についての考慮事項』

マルチスレッド・プログラムでデータを管理するときは、これらの考慮事項に注意してください。

IBM i スレッド管理

ここで説明する概念は、すべてのプログラミング言語に関係しています。

それぞれの言語でこの概念がどのように実現されているかについては、各言語のプログラマーの手引きを参照してください。

関連情報:

Pthread APIs

スレッドの属性

スレッドの属性とは、スレッドの振る舞いに影響を与えるスレッドの特性のことです。どのようなプログラミング言語、および API を使うかに応じて、さまざまな属性を使用できます。

各属性の使い方やそれがスレッドに与える効果は、アプリケーションにとってスレッドの属性が、プログラミング言語および API によって、どのように実現されているかに応じて異なります。スレッドの属性は、スレッド開始時に設定できますし、スレッドを活動状態で実行した後で変更することもできます。

下記に、よく使われるスレッドの属性とその影響について示します。

- 優先順位

優先順位属性は、別のスレッドまたはプロセスによって割り込まれるまで、システムが特定のスレッドに割り当てる処理時間の量に影響を与えます。

- スタック・サイズ

スタック・サイズ属性は、スタック・スペースが不足しているためにスレッドがエラーになるまで、スレッドが呼び出すことができる関数の数に影響を与えません。

- 名前

名前属性は、アプリケーションによるスレッドのデバッグ、またはスレッドのアクションのトラッキングを実行する機能に影響を与えます。

- スレッド・グループ

スレッド・グループ属性は、一度に複数のスレッドを容易に管理する機能に影響を与えます。

- 切り離し状態

切り離し状態属性は、スレッド終了時に、そのスレッドに関連付けられたリソースを再利用したり活動状態のままにしたりする方法に影響を与えます。

- スケジューリング・ポリシー

スケジューリング・ポリシー属性は、システム内またはアプリケーション内で、スレッドのスケジューリングの方法に影響を与えます。これはスレッドの優先順位と関係があります。

- 継承スケジューリング

継承スケジューリング属性は、システムによってスレッドの優先順位が決められる方法に影響を与えます。

例: スレッドの属性を設定する (Pthread プログラム)

この例では、「切り離し状態」スレッド属性を Pthread プログラムで設定する方法を示します。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST10.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST10
Create a default thread attributes object
Set the detach state thread attribute
Create a thread using the new attributes
Destroy thread attributes object
Join now fails because the detach state attribute was changed
Entered the thread
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

#define checkResults(string, val) { \
    if (val) { \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
        exit(1); \
    } \
}

void *theThread(void *parm)
{
    printf("Entered the thread\n");
    return NULL;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_attr_t    attr;
    pthread_t         thread;
    int               rc=0;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    printf("Create a default thread attributes object\n");
```

```

rc = pthread_attr_init(&attr);
checkResults("pthread_attr_init()\n", rc);

printf("Set the detach state thread attribute\n");
rc = pthread_attr_setdetachstate(&attr, PTHREAD_CREATE_DETACHED);
checkResults("pthread_attr_setdetachstate()\n", rc);

printf("Create a thread using the new attributes\n");
rc = pthread_create(&thread, &attr, theThread, NULL);
checkResults("pthread_create()\n", rc);

printf("Destroy thread attributes object\n");
rc = pthread_attr_destroy(&attr);
checkResults("pthread_attr_destroy()\n", rc);

printf("Join now fails because the detach state attribute was changed\n");
rc = pthread_join(thread, NULL);
if (rc==0) {
    printf("Unexpected results from pthread_join()\n");
    exit(1);
}
sleep(2);

printf("Main completed\n");
return 0;
}

```

例: スレッドの属性を設定する (Java プログラム)

この例では、「名前」スレッド属性を Java プログラムで設定する方法を示します。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```

/*
FileName: ATEST10.java

The output of this example is as follows:
Entered the testcase
Create a thread
Set some thread attributes
Start the thread
Wait for the thread to complete
Entered the thread: "theThread"
Testcase completed
*/

import java.lang.*;

public class ATEST10 {

    static class theThread extends Thread {
        public void run() {
            System.out.print("Entered the thread: \"" + getName() +
                "\"\n");
        }
    }

    public static void main(String argv[]) {
        System.out.print("Entered the testcase\n");

        System.out.print("Create a thread\n");
        theThread t = new theThread();

        System.out.print("Set some thread attributes\n");
        t.setName("theThread");
    }
}

```

```

        System.out.print("Start the thread\n");
        t.start();

        System.out.print("Wait for the thread to complete\n");
        try {
            t.join();
        }
        catch (InterruptedException e) {
            System.out.print("Join interrupted\n");
        }

        System.out.print("Testcase completed\n");
        System.exit(0);
    }
}

```

スレッドを開始する

アプリケーションでスレッドを作成すると、スレッド・オブジェクト、制御構造、および実行時サポートがシステムによって初期設定されます。それらによって、新しいスレッドは言語構成要素およびシステム・サービスを安全に使用できるようになります。

さらに、新しいスレッドを開始する前に、その新しいスレッドで使うアプリケーション・データおよびパラメーターを初期設定することが必要な場合もあります。

スレッドを作成するたびに、システムはそれに固有のスレッド識別コードを割り当てます。スレッド識別コードは、スレッドをデバッグしたり、トレースしたり、その他の管理活動を実行したりする場合に使用できる整数値です。このスレッド識別コードは、スレッドを直接操作するために使うことは普通しません。

スレッドを作成する API の多くは、新しく作成されたスレッドを表すスレッド・オブジェクトまたはハンドルを戻します。このスレッド・オブジェクトを使用して新しいスレッドを操作することができます。また、このスレッド・オブジェクトを同期オブジェクトとして使用して、スレッドが処理を終了するのを待機することもできます。

例: スレッドを開始する (Pthread プログラム)

この例では、Pthread プログラムでスレッドを開始し、それにパラメーターを渡す方法を示します。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```

/*
Filename: ATEST11.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST11
Create/start a thread with parameters
Wait for the thread to complete
Thread ID 0000000c, Parameters: 42 is the answer to "Life, the Universe and Everything"
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#define checkResults(string, val) {
\

```

```

if (val) {
    printf("Failed with %d at %s", val, string); \
    exit(1); \
} \
} \
typedef struct {
    int    threadParm1;
    char   threadParm2[124];
} threadParm_t;

void *theThread(void *parm)
{
    pthread_id_np_t    tid;
    threadParm_t *p = (threadParm_t *)parm;
    tid = pthread_getthreadid_np();
    printf("Thread ID %.8x, Parameters: %d is the answer to \"%s\"\n",
        tid.intId.lo, p->threadParm1, p->threadParm2);
    return NULL;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t    thread;
    int         rc=0;
    threadParm_t    *threadParm;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    threadParm = (threadParm_t *)malloc(sizeof(threadParm));
    threadParm->threadParm1 = 42;
    strcpy(threadParm->threadParm2, "Life, the Universe and Everything");

    printf("Create/start a thread with parameters\n");
    rc = pthread_create(&thread, NULL, theThread, threadParm);
    checkResults("pthread_create()\n", rc);

    printf("Wait for the thread to complete\n");
    rc = pthread_join(thread, NULL);
    checkResults("pthread_join()\n", rc);

    printf("Main completed\n");
    return 0;
}

```

例: スレッドを開始する (Java プログラム)

このプログラムは、Java プログラムでスレッドを開始する方法を示しています。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```

/*
FileName: ATEST11.java

The output of this example is as follows:
Entered the testcase
Create a thread with parameters
Start the thread
Wait for the thread to complete
Thread Parameters: 42 is the answer to "Life, the Universe and Everything"
Testcase completed
*/
import java.lang.*;

public class ATEST11 {

    static class theThread extends Thread {
        int    threadParm1;

```

```

String          threadParm2;

public theThread(int i, String s) {
    threadParm1 = i;
    threadParm2 = s;
}
public void run() {
    System.out.print("Thread Parameters: " + String.valueOf(threadParm1) +
        " is the answer to \"" + threadParm2 + "\"\n");
}
}

public static void main(String argv[]) {
    System.out.print("Entered the testcase\n");

    System.out.print("Create a thread with parameters\n");
    theThread t = new theThread(42, "Life, the Universe and Everything");

    System.out.print("Start the thread\n");
    t.start();

    System.out.print("Wait for the thread to complete\n");
    try {
        t.join();
    }
    catch (InterruptedException e) {
        System.out.print("Join interrupted\n");
    }

    System.out.print("Testcase completed\n");
    System.exit(0);
}
}

```

スレッドを終了する

スレッドが処理を完了すると、終了のアクションを取り、システム・リソースを解放して他のスレッドが使用できるようにします。

API によっては、アプリケーション終了時にそのスレッドに関連付けられているリソースをアプリケーションが明示的に解放することが必要なものもあります。その他のスレッド実装 (Java など) では、該当する場合にリソースのガーベッジ・コレクションやクリーンアップを実行するものもあります。

スレッドの終了にはいくつかの方法があります。パフォーマンスの点でスレッドを終了する最善の方法は、スレッド開始時に呼び出された初期ルーチンから戻ることです。スレッドを作成する API では、通常、初期ルーチンからの戻りがオプションでない場合にスレッドを終了させるためのメカニズムが提供されています。

一部の API では、例外メカニズムもサポートされています。スレッド終了の例外メカニズムは、処理されない例外をスレッドが取った時点でスレッドが終了するようになっています。一例として、スレッドによって送出された Java 例外があります。

例外についての詳細、またはスレッドを終了するその他の方法については、各言語の資料を参照してください。

関連資料:

52 ページの『同期化プリミティブとしてのスレッド』

1 つのスレッドが、別のスレッドが完了するまで待機するときは、スレッド自体を

同期化プリミティブとして使用することができます。

例: スレッドを終了する (Pthread プログラム)

この例では、Pthread プログラムでスレッドを終了する方法を示します。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST12.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST12
Create/start a thread
Wait for the thread to complete, and release its resources
Thread: End with success
Check the thread status
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#define checkResults(string, val) { \
    if (val) { \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
        exit(1); \
    } \
}

const int THREADFAIL = 1;
const int THREADPASS = 0;

void *theThread(void *parm)
{
    printf("Thread: End with success\n");
    pthread_exit(__VOID(THREADPASS));
    printf("Thread: Did not expect to get here!\n");
    return __VOID(THREADFAIL);
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t      thread;
    int            rc=0;
    void          *status;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    printf("Create/start a thread\n");
    rc = pthread_create(&thread, NULL, theThread, NULL);
    checkResults("pthread_create()\n", rc);

    printf("Wait for the thread to complete, and release its resources\n");
    rc = pthread_join(thread, &status);
    checkResults("pthread_join()\n", rc);

    printf("Check the thread status\n");
    if (__INT(status) != THREADPASS) {
        printf("The thread failed\n");
    }

    printf("Main completed\n");
    return 0;
}
```

例: スレッドを終了する (Java プログラム)

この例では、Java プログラムでスレッドを終了する方法を示します。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
FileName: ATEST12.java

The output of this example is as follows:
Entered the testcase
Create a thread
Start the thread
Wait for the thread to complete
Thread: End with success
Check the thread status
Testcase completed
*/
import java.lang.*;

public class ATEST12 {

    static class theThread extends Thread {
        public final static int THREADFAIL = 1;
        public final static int THREADPASS = 0;
        int _status;

        public int status() {
            return _status;
        }
        public theThread() {
            _status = THREADFAIL;
        }
        public void run() {
            System.out.print("Thread: End with success\n");
            _status = THREADPASS;
            /* End the thread without returning */
            /* from its initial routine */
            stop();
            System.out.print("Thread: Didn't expect to get here!\n");
            _status = THREADFAIL;
        }
    }

    public static void main(String argv[]) {
        System.out.print("Entered the testcase\n");

        System.out.print("Create a thread\n");
        theThread t = new theThread();

        System.out.print("Start the thread\n");
        t.start();

        System.out.print("Wait for the thread to complete\n");
        try {
            t.join();
        }
        catch (InterruptedException e) {
            System.out.print("Join interrupted\n");
        }
        System.out.print("Check the thread status\n");
        if (t.status() != theThread.THREADPASS) {
            System.out.print("The thread failed\n");
        }
    }
}
```

```
        System.out.print("Testcase completed\n");
        System.exit(0);
    }
}
```

スレッドの取り消し

スレッドを外部から終了する機能により、処理が長くかかる要求を実行するスレッドを、完了前に取り消すことができます。いくつかの API を使用してスレッドを取り消すことができます。

一部の API では、取り消しアクションのための well-defined points や、あるスレッドの終了時に別のスレッドを制御するための、その他のメカニズムが用意されています。一部の API では、スレッドの終了前にクリーンアップ・コードを実行したり、取り消したスレッドの結果を特定の値に設定するメカニズムも用意されています。

スレッドの取り消し機能は十分注意して使用してください。使用する API で、well-defined cancelation points や、スレッドがアプリケーション・データおよびロックをクリーンアップするメカニズムが用意されていない場合、データが損傷を受けたり、アプリケーション内にデッドロックが発生する原因となる場合があります。

注: Java Development Kit バージョン 1.2 以降では、スレッド・クラスに再開、停止、および一時停止メソッドを使用すべきではありません。それらのメソッドは安全ではないとみなされているからです。これらのメソッドにより提供される機能は、いくつかの変数の状態の検査など、他のメカニズムによって実装することができます。Java の特定バージョンに推奨されるメカニズムについては、Sun 社の Java チュートリアル (Java Tutorial) を参照してください。

関連概念:

27 ページの『スレッドを一時停止する』

アプリケーションでスレッドの処理を一時的に停止することが、役立つ場合があります。スレッドを一時停止すると、そのスレッドによって保持されているすべての属性やロックを含むスレッドの状態は、それが再開されるまで保持されます。

29 ページの『スレッドを再開する』

アプリケーションでの処理でスレッドを一時停止した場合は、一時停止したスレッドの処理を、その時点から再開できます。

関連情報:

 [Sun Java チュートリアル](#)

例: スレッドを取り消す (Pthread プログラム)

この例は、Pthread プログラムで、長時間実行しているスレッドを取り消す例です。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST13.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST13
Create/start a thread
Wait a bit until we 'realize' the thread needs to be canceled
```

```

Thread: Entered
Thread: Looping or long running request
Thread: Looping or long running request
Thread: Looping or long running request
Wait for the thread to complete, and release its resources
Thread: Looping or long running request
Thread status indicates it was canceled
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#define checkResults(string, val) { \
    if (val) { \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
        exit(1); \
    } \
}

void *theThread(void *parm)
{
    printf("Thread: Entered\n");
    while (1) {
        printf("Thread: Looping or long running request\n");
        pthread_testcancel();
        sleep(1);
    }
    return NULL;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t      thread;
    int            rc=0;
    void           *status;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    printf("Create/start a thread\n");
    rc = pthread_create(&thread, NULL, theThread, NULL);
    checkResults("pthread_create()\n", rc);

    printf("Wait a bit until we 'realize' the thread needs to be canceled\n");
    sleep(3);
    rc = pthread_cancel(thread);
    checkResults("pthread_cancel()\n", rc);

    printf("Wait for the thread to complete, and release its resources\n");
    rc = pthread_join(thread, &status);
    checkResults("pthread_join()\n", rc);

    printf("Thread status indicates it was canceled\n");
    if (status != PTHREAD_CANCELED) {
        printf("Unexpected thread status\n");
    }

    printf("Main completed\n");
    return 0;
}

```

例: スレッドを取り消す (Java プログラム)

この例は、Java プログラムで、長時間実行しているスレッドを取り消す例です。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
FileName: ATEST13.java

The output of this example is as follows:
Entered the testcase
Create a thread
Start the thread
Wait a bit until we 'realize' the thread needs to be canceled
Thread: Entered
Thread: Looping or long running request
Thread: Looping or long running request
Thread: Looping or long running request
Wait for the thread to complete
Thread status indicates it was canceled
Testcase completed
*/
import java.lang.*;

public class ATEST13 {

    static class theThread extends Thread {
        public final static int THREADPASS    = 0;
        public final static int THREADFAIL    = 1;
        public final static int THREADCANCELED = 2;
        int    _status;

        public int status() {
            return _status;
        }
        public theThread() {
            _status = THREADFAIL;
        }
        public void run() {
            System.out.print("Thread: Entered\n");
            try {
                while (true) {
                    System.out.print("Thread: Looping or long running request\n");
                    try {
                        Thread.sleep(1000);
                    }
                    catch (InterruptedException e) {
                        System.out.print("Thread: sleep interrupted\n");
                    }
                }
            }
            catch (ThreadDeath d) {
                _status = THREADCANCELED;
            }
        }
    }

    public static void main(String argv[]) {
        System.out.print("Entered the testcase\n");

        System.out.print("Create a thread\n");
        theThread t = new theThread();

        System.out.print("Start the thread\n");
        t.start();

        System.out.print("Wait a bit until we 'realize' the thread needs to be canceled\n");
        try {
            Thread.sleep(3000);
        }
        catch (InterruptedException e) {
            System.out.print("sleep interrupted\n");
        }
    }
}
```

```

        t.stop();

        System.out.print("Wait for the thread to complete\n");
        try {
            t.join();
        }
        catch (InterruptedException e) {
            System.out.print("Join interrupted\n");
        }
        System.out.print("Thread status indicates it was canceled\n");
        if (t.status() != theThread.THREADCANCELED) {
            System.out.print("Unexpected thread status\n");
        }

        System.out.print("Testcase completed\n");
        System.exit(0);
    }
}

```

スレッドを一時停止する

アプリケーションでスレッドの処理を一時的に停止することが、役立つ場合があります。スレッドを一時停止すると、そのスレッドによって保持されているすべての属性やロックを含むスレッドの状態は、それが再開されるまで保持されます。

スレッドの一時停止は十分注意して使用してください。スレッドを一時停止すると、アプリケーションのデッドロックや、タイムアウト条件の原因となる可能性があります。スレッドの一時停止に関する問題の多くは、それ以外のもっと安全なメカニズム（同期プリミティブなど）を使うことによって解決できます。

注: Java スレッド・クラスの一時停止メソッドは使用すべきではありません。

関連概念:

40 ページの『スレッド間の同期化テクニック』

作成しているコードがスレッド・セーフではあるが、スレッド間でのデータまたはリソースの共用から利点を得る場合、プログラミングの最も重要な点はスレッドの同期化を行う能力です。

24 ページの『スレッドの取り消し』

スレッドを外部から終了する機能により、処理が長くかかる要求を実行するスレッドを、完了前に取り消すことができます。いくつかの API を使用してスレッドを取り消すことができます。

例: Java プログラムを使用してスレッドを中断する

この例は、Java プログラムで、活動状態で実行しているスレッドを一時停止する例です。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```

/*
FileName: ATEST14.java

```

The output of this example is as follows:

```

Entered the testcase
Create a thread
Start the thread
Wait a bit until we 'realize' the thread needs to be suspended
Thread: Entered

```

```

Thread: Active processing
Thread: Active processing
Suspend the thread
Wait a bit until we 'realize' the thread needs to be resumed
Resume the thread
Thread: Active processing
Wait for the thread to complete
Thread: Active processing
Thread: Active processing
Thread: Completed
Testcase completed
*/
import java.lang.*;

public class ATEST14 {

    static class theThread extends Thread {
        public void run() {
            int    loop=6;
            System.out.print("Thread: Entered\n");
            while (--loop > 0) {
                System.out.print("Thread: Active processing\n");
                safeSleep(1000, "Thread: sleep interrupted\n");
            }
            System.out.print("Thread: Completed\n");
        }
    }

    public static void main(String argv[]) {
        System.out.print("Entered the testcase\n");

        System.out.print("Create a thread\n");
        theThread t = new theThread();

        System.out.print("Start the thread\n");
        t.start();

        System.out.print("Wait a bit until we 'realize' the thread needs to be suspended\n");
        safeSleep(2000, "Main first sleep interrupted\n");
        System.out.print("Suspend the thread\n");
        t.suspend();

        System.out.print("Wait a bit until we 'realize' the thread needs to be resumed\n");
        safeSleep(2000, "Main second sleep interrupted\n");
        System.out.print("Resume the thread\n");
        t.resume();

        System.out.print("Wait for the thread to complete\n");
        try {
            t.join();
        }
        catch (InterruptedException e) {
            System.out.print("Join interrupted\n");
        }

        System.out.print("Testcase completed\n");
        System.exit(0);
    }

    public static void safeSleep(long milliseconds, String s) {
        try {
            Thread.sleep(milliseconds);
        }
        catch (InterruptedException e) {
            System.out.print(s);
        }
    }
}

```

```
    }  
  }  
}
```

スレッドを再開する

アプリケーションでの処理でスレッドを一時停止した場合は、一時停止したスレッドの処理を、その時点から再開できます。

再開したスレッドは、一時停止した時点と同じロックを保持しており、属性も同じです。

注: Java スレッド・クラスの一時停止メソッドは使用すべきではありません。

関連概念:

24 ページの『スレッドの取り消し』

スレッドを外部から終了する機能により、処理が長くかかる要求を実行するスレッドを、完了前に取り消すことができます。いくつかの API を使用してスレッドを取り消すことができます。

スレッドの終了を待機する

スレッドを使う場合、スレッドがいつ処理を終了するかについて知っておくことは重要です。スレッドがアクションを実行したり、何かのイベントが発生するまで待機することを、スレッド同期といいます。

多くの場合、スレッドの終了を単に待機するだけで十分です。スレッドが終了すると、そのスレッドに割り当てられた処理が完了したこと、またはスレッドが失敗したことがアプリケーションに通知されます。スレッドによって状況が設定されており、使用中の API でその状況がサポートされている場合は、その状況を使うことによって、スレッドが正常にその処理を完了したかどうかを判別できます。

スレッドが終了すると、システムはそのリソースを再利用します。あるスレッドのリソースを他のスレッドで再利用するために、スレッドの終了を待機することもできます。

サーバーなどの大規模なアプリケーションの場合には、一連のスレッドからなるグループの終了を待機するとよい場合があります。大規模なアプリケーションは、アプリケーション作業の多くを「ワーカー (作業員)」スレッドに割り当てて、単一の「ボス (責任者)」スレッドでそれら従属スレッドの作業を調整するようにします。使用中の API によっては、この種の待機を直接サポートしていることもあります。

例: スレッドを待機する (Pthread プログラム)

この例は、Pthread プログラムにおいていくつかのスレッドを開始し、それらの終了を待ち、完了後にその状況を検査する例です。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*  
Filename: ATEST13.QCSRC  
The output of this example is as follows:  
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST15  
Create/start some worker threads
```

```

Thread 00000000 000001a4: Entered
Thread 00000000 000001a4: Working
Wait for worker threads to complete, release their resources
Thread 00000000 000001a8: Entered
Thread 00000000 000001a8: Working
Thread 00000000 000001a5: Entered
Thread 00000000 000001a5: Working
Thread 00000000 000001a6: Entered
Thread 00000000 000001a6: Working
Thread 00000000 000001a7: Entered
Thread 00000000 000001a7: Working
Thread 00000000 000001a4: Done with work
Thread 00000000 000001a8: Done with work
Thread 00000000 000001a6: Done with work
Thread 00000000 000001a7: Done with work
Thread 00000000 000001a5: Done with work
Check all thread's results
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#define THREADGROUPSIZE 5

#define checkResults(string, val) { \
    if (val) { \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
        exit(1); \
    } \
}

void *theThread(void *parm)
{
    printf("Thread %.8x %.8x: Entered\n", pthread_getthreadid_np());
    printf("Thread %.8x %.8x: Working\n", pthread_getthreadid_np());
    sleep(15);
    printf("Thread %.8x %.8x: Done with work\n", pthread_getthreadid_np());
    return NULL;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t      thread[THREADGROUPSIZE];
    void          *status[THREADGROUPSIZE];
    int           i;
    int           rc=0;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    printf("Create/start some worker threads\n");
    for (i=0; i <THREADGROUPSIZE; ++i)
    {
        rc = pthread_create(&thread[i], NULL, theThread, NULL);
        checkResults("pthread_create()\n", rc);
    }

    printf("Wait for worker threads to complete, release their resources\n");
    for (i=0; i <THREADGROUPSIZE; ++i) {
        rc = pthread_join(thread[i], &status[i]);
        checkResults("pthread_join()\n", rc);
    }

    printf("Check all thread's results\n");
    for (i=0; i <THREADGROUPSIZE; ++i) {
        if (status[i] != NULL) {

```

```

        printf("Unexpected thread status\n");
    }
}

printf("Main completed\n");
return 0;
}

```

例: スレッドを待機する (Java プログラム)

この例は、Java プログラムにおいていくつかのスレッドを開始し、それらの終了を待ち、完了後にその状況を検査する例です。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```

/*
FileName: ATEST15.java

The output of this example is as follows:
Entered the testcase
Create some worker threads
Start the thread
Thread Thread-1: Entered
Thread Thread-1: Working
Thread Thread-2: Entered
Thread Thread-2: Working
Thread Thread-3: Entered
Thread Thread-3: Working
Thread Thread-4: Entered
Thread Thread-4: Working
Wait for worker threads to complete
Thread Thread-5: Entered
Thread Thread-5: Working
Thread Thread-1: Done with work
Thread Thread-2: Done with work
Thread Thread-3: Done with work
Thread Thread-4: Done with work
Thread Thread-5: Done with work
Check all thread's results
Testcase completed
*/
import java.lang.*;

public class ATEST15 {
    public final static int THREADGROUPSIZE = 5;

    static class theThread extends Thread {
        public final static int THREADPASS = 0;
        public final static int THREADFAIL = 1;
        int _status;

        public int status() {
            return _status;
        }
        public theThread() {
            _status = THREADFAIL;
        }
        public void run() {
            System.out.print("Thread " + getName() + ": Entered\n");
            System.out.print("Thread " + getName() + ": Working\n");
            safeSleep(15000, "Thread " + getName() + " work");
            System.out.print("Thread " + getName() + ": Done with work\n");
            _status = THREADPASS;
        }
    }
}

```

```

    }

    public static void main(String argv[]) {
        int          i=0;
        theThread    thread[] = new theThread[THREADGROUPSIZE];

        System.out.print("Entered the testcase\n");

        System.out.print("Create some worker threads\n");
        System.out.print("Start the thread\n");
        /* We won't use a ThreadGroup for this example, because we'd */
        /* still have to join all the threads individually          */
        for (i=0; i <THREADGROUPSIZE; ++i) {
            thread[i] = new theThread();
            thread[i].start();
        }

        System.out.print("Wait for worker threads to complete\n");
        for (i=0; i <THREADGROUPSIZE; ++i) {
            try {
                thread[i].join();
            }
            catch (InterruptedException e) {
                System.out.print("Join interrupted\n");
            }
        }
        System.out.print("Check all thread's results\n");
        for (i=0; i <THREADGROUPSIZE; ++i) {
            if (thread[i].status() != theThread.THREADPASS) {
                System.out.print("Unexpected thread status\n");
            }
        }

        System.out.print("Testcase completed\n");
        System.exit(0);
    }

    public static void safeSleep(long milliseconds, String s) {
        try {
            Thread.sleep(milliseconds);
        }
        catch (InterruptedException e) {
            System.out.print(s);
        }
    }
}

```

処理装置を別のスレッドに譲る

あるスレッドがシステム内の別のスレッドに処理装置を譲ることが、アプリケーションの役に立つことがあります。

スレッドが処理装置を譲ると、優先順位がそれ以上である別のスレッドのうち、システム内部で活動状態になっているものが、即時実行できるようになります。それ以上の優先順位のスレッドの中で、現在実行可能な状態になっているものがない場合、処理装置を譲っても何の影響もありません。即時アクションを別にすれば、処理装置を譲っても、システム内のスレッドのスケジューリングに関して特に予測可能な動作はありません。

IBM i プラットフォームでは、完全にプリエンティブなマルチタスキング・スケジューリング・アルゴリズムが提供されています。適切に作成されたアプリケーションのスレッドの場合、他のスレッドに処理装置を譲る必要はほとんどないはずで

す。もっと予測可能なアプリケーション・プログラミング・インターフェース (API) を使うことによって、スレッド相互の同期を取ることができるからです。

スレッド・セーフティー

ある関数がスレッド・セーフであるのは、同一プロセス内の複数のスレッドで同時にその関数を開始できる場合です。ある関数がスレッド・セーフであるのは、その関数から呼び出されるすべての関数がスレッド・セーフである場合のみです。

関連概念:

63 ページの『スレッド・セーフでない関数呼び出し』

時折、マルチスレッド・アプリケーションが、スレッド・セーフではない関数やシステム・サービスへのアクセスを必要とすることがあります。それらの関数を呼び出す、安全な代替方法がいくつかあります。

関連資料:

6 ページの『活動化グループとスレッド』

すべてのプログラムおよびサービス・プログラムは、活動化グループと呼ばれるジョブの副構造の中で活動化されます。この副構造には、静的記憶域とヒープ記憶域、および一時データ管理リソースを含め、プログラムを実行するために必要なリソースが含まれています。

39 ページの『既存のアプリケーションの評価』

マルチスレッド・アプリケーションを作成するときは、アプリケーションのすべてのパーツ、またスレッド・セーフティーのためにアプリケーションが使用するすべてのサービスを評価する必要があります。

記憶域の使用法とスレッド・アプリケーション

スレッド・アプリケーションを作成する場合、さまざまなクラスの記憶域の可視性と有効範囲を理解しておくことが大切です。

アプリケーションで変数を宣言する場合、複数のスレッドからそれらの変数にアクセスしたり、使用したりすることが可能なことがあります。アプリケーションの変数に使用される記憶域の可視性と有効範囲は、アプリケーションの機能に影響を及ぼします。

- グローバル記憶域

アプリケーションのソース・ファイルの 1 つで宣言したグローバル記憶域は、アプリケーションの他のすべてのソース・ファイルまたはモジュールから可視になります。アプリケーション内のコードを実行するすべてのスレッドは、同じグローバル記憶域を共有します。記憶域がこのように意図せずに共有されることは、しばしば安全性の点で問題になります。

- 静的記憶域

静的記憶域は、記憶域または変数が宣言されたソース・ファイル、モジュール、関数の範囲でのみ可視であるグローバル記憶域です。そのモジュールのコードを実行するすべてのスレッドは、同一の静的記憶域を共有します。

- スレッド・ローカル記憶域

スレッド・ローカル記憶域の変数は、変数の宣言のされ方に応じて、アプリケーションのすべてのソース・ファイル、単一ソース・モジュール、または単一関数から可視になります。スレッド・ローカル記憶域は、プロセス内の他のスレッドから不可視です。スレッドが開始されると、スレッド・ローカル記憶域の変数のコピーがスレッド用に作成されます。

- ヒープ記憶域

ヒープ記憶域は、アプリケーションによって動的に割り振られ、割り振り解除されます (例えば、C の `malloc()` および `free()` あるいは Java または C++ の `new` および `delete`)。アプリケーション内のコードを実行するすべてのスレッドは、同じヒープを共有します。

割り振り済みヒープ記憶域へのポインターを、静的記憶域、またはグローバル記憶域の中に格納することによって、別のスレッドがアクセスできるようにしたり、それを別のスレッドに渡したりすると、そのスレッドでその記憶域を使用したり、割り振り解除したりできるようになります。記憶域がこのように意図せずに共有されることは、しばしばスレッド・セーフティーの点で問題になります。

- 自動記憶域

関数、メソッド、またはサブルーチン専用の変数を宣言すると、使用している言語によって、自動記憶域またはローカル記憶域が自動的に割り振られます。ローカル記憶域は、プロセス内の他のスレッドから不可視です。それらのスレッドが関数、メソッド、またはサブルーチンを呼び出すと、そのスレッドは自動変数の新しいバージョンを割り振ります。各スレッドは、それぞれ独自の自動記憶域を取得します。逐次化と同期化の厄介な問題が関係しているため、スレッドが別のスレッドに由来する自動記憶域にアクセスすることがないようにしてください。

オペレーティング・システムでは、グローバル記憶域、静的記憶域、スレッド・ローカル記憶域、およびヒープ記憶域の有効範囲が、アプリケーション・コードの実行されている活動化グループの範囲内に制限されています。したがって、複数の異なる活動化グループで実行されているながら、同一のグローバル変数や静的変数を使用しているアプリケーション・コードまたはスレッドは、それらの変数、およびその記憶域のさまざま異なるバージョンにアクセスすることになります。同じように、1つの活動化グループの中で割り振られたヒープ記憶域が、異なる活動化グループによって使用可能であったとしても、別の活動化グループで割り振り解除されることはありません。

言語によっては、変数としてグローバル記憶域クラス、または静的記憶域クラスしかサポートしていないものもあります。スレッド・アプリケーションにそのような言語を使うのは容易ではありません。そのような言語では、スレッドを使わないでください。

ジョブを有効範囲とするリソースとスレッド・セーフティー

多くのシステム・リソースとアプリケーション・リソースは、定義されたジョブの内部でのみ使用可能です。マルチスレッド・アプリケーション、またはサービスを作成する場合は、ジョブを有効範囲とするリソースの使用について評価する必要があります。それらのリソースを使用して、プロセス内の他のスレッドと競合したり、悪い影響を与えたりしないようにするためです。

リソースによっては、有効範囲が活動化グループであるものもあります (例えばオープンされているデータベース・ファイル)。ここでの文脈に関する限り、活動化グループを有効範囲とするリソースの処理では、ジョブを有効範囲とするリソースと同じ注意事項が当てはまります。その活動化グループを使うすべてのスレッドはこれらのリソースを使用します。

アプリケーションの他のスレッドがリソースを使っているときに、あるスレッドがそれらを変更する場合、アプリケーションでは適切な同期テクニックを使用できます。その場合、スレッド相互間でリソースが一貫して同じに見えるようにする必要があります。

ジョブまたは活動化グループを有効範囲とするリソースとして一般的なものには、次のものがあります。

- ヒープ記憶域、静的記憶域、およびグローバル記憶域

最も一般的な共有リソースです。詳しくは、33 ページの『記憶域の使用法とスレッド・アプリケーション』を参照してください。

- オープン・ファイル

ファイルをオープンした後、ファイル・ハンドル・ポインターまたはファイル記述子番号を別のスレッドに渡すことによって、プロセス内のスレッド相互間で、統合ファイル・システム・ファイルおよびデータベース・ファイルを直接に共有できます。作業ディレクトリーは、常にプロセスの有効範囲になります。

- ロケール

アプリケーションのロケールは活動化グループ・リソースです。すべてのスレッドはそのロケールを共有します。ロケールを変更すると、照合順序やその他のロケール情報に関して他のスレッドに影響します。

- コード化文字セット ID

ジョブのコード化文字セット ID (CCSID) を変更すると、そのジョブ内のすべてのスレッドの現行のデータ変換、またはデータ表現に影響します。

- 環境変数

一般的なアプリケーションでは、構成とオプションの動作に環境変数を使います。ジョブのすべてのスレッドがこれらの環境変数を共有します。

API スレッド・セーフティの分類

各 API にはスレッド・セーフの分類があります。API を使用する前に、マルチスレッド・プログラム内でその API を呼び出すことが、安全かどうかを判断してください。

スレッド・セーフの分類にはいくつかのタイプがあります。

- スレッド・セーフ: yes (あり)

このタイプは、複数のスレッドで同時にかつ安全に、制限なしでその API を呼び出せることを示しています。また、このタイプは、この API によって呼び出されるすべての関数もスレッド・セーフであることを示しています。

- スレッド・セーフ: conditional (条件付き)

このタイプは、その API によって提供される関数のすべてがスレッド・セーフであるとは限らないことを示しています。API の「使用上の注意」セクションに、スレッド・セーフティーの制限に関連した情報が含まれています。基本となるなんらかのシステム・サポートがスレッド・セーフではないため、またはその API から出口点が呼び出されることがあるため、多くの API は条件付きスレッド・セーフに分類されています。例えば、ファイル・システム API の多くは、スレッド・セーフ・ファイル・システム内のファイルで使う限りは、完全にスレッド・セーフです。いくつかの条件付きスレッド・セーフ API は、特定の状況下でアクセスを拒否する場合があります。API の使用上の注意の中に、その関数がアクセスを拒否する原因となる条件を説明してあります。

- スレッド・セーフ: no (なし)

このタイプは、その API がスレッド・セーフではなく、マルチスレッド・プログラムで使用すべきでないことを示しています。一部のスレッド・セーフでない API はアクセスを拒否する可能性があります、ほとんどのスレッド・セーフでない API は拒否しません。CL コマンドの場合とは違って、アクセスを拒否する API 以外の API のうちスレッド・セーフでない API が呼び出されたことを示す診断メッセージは、ジョブ・ログに出力されません。マルチスレッド・プログラムの中でスレッド・セーフでない関数を呼び出すために、いろいろなテクニックがあります。

関連概念:

アプリケーション・プログラミング・インターフェース (Application Programming Interfaces)

CL コマンドとスレッド・セーフティー

Integrated Language Environment (ILE) CL ランタイムおよびコンパイラ生成コードは、スレッド・セーフです。オリジナル・プログラム・モデル (OPM) CL プログラムは、スレッド・セーフではありません。

バージョン 4 リリース 3 より前にコンパイルされた ILE CL コードまたは OPM CL コードの場合、CL ランタイムは CPD000B 診断メッセージを出して実行を続けますが、結果は予測できません。これがスレッド・セーフであるかどうかは、基礎となるコードによります。

コマンド分析プログラムはスレッド・セーフです。スレッド・セーフ属性 (THDSAFE) が *NO、マルチスレッド・ジョブ・アクション属性 (MLTTHDACN) が *NORUN または *MSG に設定されているコマンドを、マルチスレッド操作が可能なジョブから呼び出すと、コマンド分析プログラムは次のいずれかを実行します。

- マルチスレッド・ジョブで MLTTHDACN が *NORUN に設定されている場合、コマンド分析プログラムは CPD000D 診断メッセージを送信し、コマンドは実行されません。CPD000D 診断メッセージに続いて CPF0001 エスケープ・メッセージが出されます。
- マルチスレッド・ジョブで MLTTHDACN が *MSG に設定されている場合、コマンド分析プログラムは CPD000D 診断メッセージを送信し、プログラムの実行が継続します。ただし、結果は予測できません。

- 複数のスレッドを実行できるものの、マルチスレッドではないジョブの場合、コマンド分析プログラムは、スレッド・セーフでないコマンドが支障なく実行することを許可します。

MLTTHDACN が *RUN に設定されている場合、コマンド分析プログラムは、診断メッセージを送信せず、コマンドの実行を許可します。ただし、結果は予測できません。また、MLTTHDACN は、THDSAFE 値が *NO であるコマンドにしか適用されません。コマンドの THDSAFE 値と MLTTHDACN 値を判別するには、**コマンド表示 (DSPCMD)** コマンドを使用してください。

MLTTHDACN 値が *SYSVAL に設定されるコマンドもあります。この場合、コマンド分析プログラムはコマンドの処理方法を決定するために、QMLTTHDACN システム値を使用します。

IBM i オペレーティング・システム上でこの値の設定を表示するには、以下のコマンドを使用します。

DSPSYSVAL SYSVAL(QMLTTHDACN)

IBM i 上でこの値の設定を変更するには、以下のコマンドを使用します。

CHGSYSVAL SYSVAL(QMLTTHDACN) VALUE(x)

DSPSYSVAL からの出力例は、以下のとおりです。

システム値の表示

```
システム値 . . . . . : QMLTTHDACN
記述 . . . . . : マルチスレッド・ジョブの処置
```

```
マルチスレッド・ジョブ
の処置 . . . . . : 2          1= メッセージを送出しないでスレッド・
セーフでない機能を実行
2= スレッド・セーフでない機能を実行して
通知メッセージを送出
3= スレッド・セーフでない機能を実行しない
```

関連概念:

39 ページの『マルチスレッド・プログラミング・テクニック』

IBM i オペレーティング・システム用のマルチスレッド・アプリケーションまたはシステム・アプリケーションを作成する場合、いくつかのテクニックに精通しておく必要があります。

63 ページの『スレッド・セーフでない関数呼び出し』

時折、マルチスレッド・アプリケーションが、スレッド・セーフではない関数やシステム・サービスへのアクセスを必要とすることがあります。それらの関数を呼び出す、安全な代替方法がいくつかあります。

アクセスを拒否する関数とスレッド・セーフティー

システム保全性の問題とデータ損傷の問題を避けるため、特定の API とコマンドは、条件付きスレッド・セーフおよび非スレッド・セーフになっています。それらの API およびコマンドは、すべてのアクセスを拒否したり一部のアクセスを拒否したりします。

アクセスを拒否する基準として、下記の基準があります。

- マルチスレッドの可能性

この場合、関数へのアクセスを拒否するかどうかは、マルチスレッド可能ジョブ属性を検査することによって決定されます。ジョブがスレッドをサポートしている場合、現在ジョブ内に存在するスレッドの数には関係なく、その関数を呼び出すことはできません。関数がマルチスレッドの可能性に基づいてアクセスを拒否する場合、その関数によって、CPF1892 (関数 &1 は使用できない) エスケープ・メッセージが呼び出し元に送られます。マルチスレッドの可能性に基づいてアクセスを拒否する関数は、別個のジョブで呼び出してください。

- 初期スレッド

一部の関数は、ジョブの初期スレッドがその関数を呼び出すかどうかに基づいてアクセスを拒否します。2 次スレッドで関数を呼び出した場合、その関数は CPF180C (関数 &1 は使用できない) エスケープ・メッセージを呼び出し元に送信して、アクセスを拒否します。初期スレッドへの要求を経路指定して、初期スレッドから関数を呼び出すことによって、2 次スレッドからアクセスを拒否する関数を呼び出すことは可能です。初期スレッドしか使えない関数の例としては、データベース・ファイルへの一時変更があります。

- 複数のスレッド

この場合、アクセスを拒否するかどうかは、ジョブ内のスレッドの数によって決定されます。ジョブに複数のスレッドがある場合、その関数によって CPF180B (関数 &1 は使用できない) エスケープ・メッセージが呼び出し元に送られます。エラー番号を戻すその他の関数は、errno を **ENOTSAFE** に設定します。

1 つのスレッドのみが活動状態の場合にのみ、関数を使わないようにすることにより、スレッドが複数個ある場合に、アクセスを拒否する関数を呼び出すことは可能です。このような関数の例としては、スレッド・セーフでないファイル・システムに含まれる、ファイルにアクセスするために使われるファイル・システム API があります。

関連情報:

資源再利用 (RCLRSC) コマンド

出口点

IBM i 登録機能を使用して、アプリケーション内の関数の出口点を定義し、それらの出口点で実行するプログラムを登録することができます。

また、IBM i のサービスには、出口プログラムを登録するための登録機能をサポートするものもあります。これらの IBM i サービスには、インストール時に登録される出口点が事前定義されています。登録機能自体はスレッド・セーフです。出口プログラム項目のスレッド・セーフティ属性とマルチスレッド・ジョブ・アクション属性を指定するために、登録機能を使用できます。

ただし、マルチスレッド・ジョブで出口プログラムを呼び出すことはできても、注意深く評価せずに既存の出口プログラムをスレッド・セーフと見なすことがないようしてください。出口プログラムに適用される制限は、マルチスレッド・ジョブで実行されるその他のすべてのコードに適用されるものと同じです。例えば、スレ

ッド・セーフな Integrated Language Environment (ILE) 言語を使って作成した出口プログラムでなければ、スレッド・セーフにすることはできません。

関連資料:

『既存のアプリケーションの評価』

マルチスレッド・アプリケーションを作成するときは、アプリケーションのすべてのパーツ、またスレッド・セーフティーのためにアプリケーションが使用するすべてのサービスを評価する必要があります。

8 ページの『マルチスレッド・プログラミングでのデータベースについての考慮事項』

マルチスレッド・プログラムでデータベースを使用するときは、これらの考慮事項に注意してください。

マルチスレッド・プログラミング・テクニック

IBM i オペレーティング・システム用のマルチスレッド・アプリケーションまたはシステム・アプリケーションを作成する場合、いくつかのテクニックに精通しておく必要があります。

このセクションで説明する概念は、すべてのプログラミング言語に当てはまりません。それぞれの言語でそれらの概念がどのように実現されているかについては、Information Center にある各言語の『言語 (Language)』のトピックを参照してください。

関連資料:

36 ページの『CL コマンドとスレッド・セーフティー』

Integrated Language Environment (ILE) CL ランタイムおよびコンパイラ生成コードは、スレッド・セーフです。オリジナル・プログラム・モデル (OPM) CL プログラムは、スレッド・セーフではありません。

既存のアプリケーションの評価

マルチスレッド・アプリケーションを作成するときは、アプリケーションのすべてのパーツ、またスレッド・セーフティーのためにアプリケーションが使用するすべてのサービスを評価する必要があります。

アプリケーションで使用される各サービスまたは API がどのように記憶リソースを使うかは、スレッド・セーフなアプリケーションを提供するために重要な考慮事項です。スレッド・セーフである方法で記憶域を使用しない場合は、アプリケーションのデータは損傷を受ける可能性があります。

スレッド・セーフなアプリケーションを作成する点で他に重要なのは、そのアプリケーション、またはアプリケーション・サービスが依存する API と、システム・サービスです。スレッド・セーフにするには、使用する記憶域、また直接 / 間接的に使用するすべての API、およびサービスがスレッド・セーフでなければなりません。間接的に使用する API およびシステム・リソースは、評価するのが特に困難です。特定の API やシステム・サービスがスレッド・セーフかどうかは、APIs のトピックを参照してください。

呼び出すシステム・サービス、API または他のアプリケーションのソース・コードを持っていないということが頻繁にあります。これらのサービスの多くは、スレッ

ド・セーフの分類が文書化されていないため、これらのサービスはスレッド・セーフではないことを前提としなければなりません。

関連概念:

33 ページの『スレッド・セーフティー』

ある関数がスレッド・セーフであるのは、同一プロセス内の複数のスレッドで同時にその関数を開始できる場合です。ある関数がスレッド・セーフであるのは、その関数から呼び出されるすべての関数がスレッド・セーフである場合のみです。

関連資料:

38 ページの『出口点』

IBM i 登録機能を使用して、アプリケーション内の関数の出口点を定義し、それらの出口点で実行するプログラムを登録することができます。

スレッド間の同期化テクニック

作成しているコードがスレッド・セーフではあるが、スレッド間でのデータまたはリソースの共用から利点を得る場合、プログラミングの最も重要な点はスレッドの同期化を行う能力です。

同期化とは 2 つ以上のスレッドの連携アクションです。各スレッドが、他のスレッドと同調して特定のポイントに達してから処理を続行するようにします。同期化を正しく使用せずにリソースの共用を試みると、アプリケーション・データは損傷を受けることがあります。

通常、2 つのスレッドの同期化には、1 つ以上の同期化プリミティブの使用が関係します。同期化プリミティブとは、アプリケーションで必要な同期化動作を得るためにアプリケーションが使用または作成する、低レベルの関数またはアプリケーション・オブジェクト (IBM i オブジェクトではない) です。

最も一般的な同期化プリミティブは以下のとおりです。計算コストが低い方から高い方への順序になっています。

- 比較とスワップ
- 相互排他 (mutex) およびスレッド
- セマフォとスレッド
- 条件変数とスレッド
- 同期化プリミティブとしてのスレッド
- スペース・ロケーション・ロック
- オブジェクト・ロック

これらの概念は、すべてのプログラミング言語に当てはまります。それぞれの言語でこれらの概念がどのように実現されているかについては、Information Center にある各言語の『言語 (Language)』のトピックを参照してください。

関連概念:

27 ページの『スレッドを一時停止する』

アプリケーションでスレッドの処理を一時的に停止することが、役立つ場合があります。スレッドを一時停止すると、そのスレッドによって保持されているすべての属性やロックを含むスレッドの状態は、それが再開されるまで保持されます。

63 ページの『スレッド・セーフでない関数呼び出し』

時折、マルチスレッド・アプリケーションが、スレッド・セーフではない関数やシステム・サービスへのアクセスを必要とすることがあります。それらの関数を呼び出す、安全な代替方法がいくつかあります。

Compare and Swap 命令

マシン・インターフェース (MI) の Compare and Swap (CMPSWP) 命令を使って、マルチスレッド・プログラムのデータにアクセスすることができます。

CMPSWP 命令は、最初の比較オペランド値と 2 番目の比較オペランド値を比較します。それらが同等であれば、スワップ・オペランドが 2 番目の比較オペランドの位置に格納されます。同等でなければ、2 番目の比較オペランドが 1 番目の比較オペランドの位置に格納されます。

比較が等価ならば、CMPSWP 命令により、2 番目の比較オペランドが比較のために取り出されてから、スワップ・オペランドが 2 番目の比較オペランドの位置に格納されるまで、別の CMPSWP 命令によるアクセスはできなくなります。

比較が等価でないならば、1 番目の比較オペランド位置への格納と、他の CMPSWP 命令によるアクセスについて原子性の保証はありません。このように、2 番目の比較オペランドだけは、並行処理制御で共用する変数でなければなりません。

次の C マクロのコード例は、整数変数を原子的に増分または減分するために使用できます。

```
#ifndef __cmpswp_h
#include <mih/cmpswp.h>
#endif

#define ATOMICADD ( var, val, rc ) { \
    int aatemp1 = (var); \
    int aatemp2 = aatemp1 + val; \
    while( ! _CMPSWP( &aatemp1, &var, aatemp2 ) ) \
        aatemp2 = aatemp1 + val; \
    rc = aatemp2; \
}
```

このコード例において、*var* は増分または減分する整数、*val* は *var* に追加または減算する整数値、*rc* は結果の値を表します。

mutex とスレッド

mutex (相互排他) は、連携しているスレッドのうち一度に 1 つだけがデータにアクセスしたり、特定のアプリケーション・コードを実行するよう見届けるため、スレッド間で連携して使用します。

mutex という言葉は、スレッド間での相互排他 (MUTual EXclusion) を実現するプリミティブ・オブジェクトの省略です。入門編として、mutex のことをクリティカル・セクションやモニターのように考えることができます。

通常 mutex は、アプリケーションにより、保護対象のデータと論理的に関連付けられます。例えば、PAYROLL DATA に PAYROLL MUTEX が関連付けられているとします。アプリケーション・コードは、PAYROLL DATA にアクセスする前に必ず PAYROLL MUTEX をロックします。別のスレッドがデータにアクセスする前に mutex を使おうとすると、mutex はそのデータへのアクセスを阻止します。

作成 (create)、ロック (lock)、アンロック (unlock)、および破棄 (destroy) は、mutex で実行される典型的な操作です。mutex を正常にロックしたスレッドが、アンロックされるまでその mutex の所有者になります。mutex のロックを試みるスレッドは、それが所有者によってアンロックされるまで待機しなければなりません。所有者が mutex をアンロックすると、待機していたスレッドに制御が移り、今度はそのスレッドが mutex の所有者になります。mutex の所有者は常に 1 つです。

mutex の待機操作は再帰的です。mutex が再帰的であるため、所有者のスレッドは何度でも繰り返し mutex をロックできます。アンロック要求の数が、正常に行われたロック要求の数と同じになるまで、mutex の所有者は変わりません。ユーザーが指定した時間が経過すると mutex 待機がタイムアウトになります。ロックを取得できなければ mutex 待機は即時に戻されます。詳細については、ご使用の API の資料で、アプリケーションで実際に使用可能な mutex プリミティブを参照してください。

例: mutexes の使用 (Pthread プログラム):

この例では、相互排他 (mutex) を使って共用データへのアクセスを保護するいくつかのスレッドを開始する、Pthread プログラムを示しています。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST16.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST16
Hold Mutex to prevent access to shared data
Create/start threads
Wait a bit until we are 'done' with the shared data
Thread 00000000 00000019: Entered
Thread 00000000 0000001a: Entered
Thread 00000000 0000001b: Entered
Unlock shared data
Wait for the threads to complete, and release their resources
Thread 00000000 00000019: Start critical section, holding lock
Thread 00000000 00000019: End critical section, release lock
Thread 00000000 0000001a: Start critical section, holding lock
Thread 00000000 0000001a: End critical section, release lock
Thread 00000000 0000001b: Start critical section, holding lock
Thread 00000000 0000001b: End critical section, release lock
Clean up
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#define checkResults(string, val) {           \
    if (val) {                               \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
        exit(1);                             \
    }                                         \
}

#define NUMTHREADS 3
pthread_mutex_t mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
int sharedData=0;
int sharedData2=0;
```

```

void *theThread(void *parm)
{
    int rc;
    printf("Thread %.8x %.8x: Entered\n", pthread_getthreadid_np());
    rc = pthread_mutex_lock(&mutex);
    checkResults("pthread_mutex_lock()\n", rc);
    /****** Critical Section *****/
    printf("Thread %.8x %.8x: Start critical section, holding lock\n",
        pthread_getthreadid_np());
    /* Access to shared data goes here */
    ++sharedData; --sharedData2;
    printf("Thread %.8x %.8x: End critical section, release lock\n",
        pthread_getthreadid_np());
    /****** Critical Section *****/
    rc = pthread_mutex_unlock(&mutex);
    checkResults("pthread_mutex_unlock()\n", rc);
    return NULL;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t thread[NUMTHREADS];
    int rc=0;
    int i;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    printf("Hold Mutex to prevent access to shared data\n");
    rc = pthread_mutex_lock(&mutex);
    checkResults("pthread_mutex_lock()\n", rc);

    printf("Create/start threads\n");
    for (i=0; i<NUMTHREADS; ++i) {
        rc = pthread_create(&thread[i], NULL, theThread, NULL);
        checkResults("pthread_create()\n", rc);
    }

    printf("Wait a bit until we are 'done' with the shared data\n");
    sleep(3);
    printf("Unlock shared data\n");
    rc = pthread_mutex_unlock(&mutex);
    checkResults("pthread_mutex_unlock()\n",rc);

    printf("Wait for the threads to complete, and release their resources\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        rc = pthread_join(thread[i], NULL);
        checkResults("pthread_join()\n", rc);
    }

    printf("Clean up\n");
    rc = pthread_mutex_destroy(&mutex);
    printf("Main completed\n");
    return 0;
}

```

例: mutexes の使用 (Java プログラム):

この例では、コードのクリティカル・セクションを作成する Java プログラムを示しています。Java では、コード・ブロックまたはメソッドで同期化キーワードを使うことにより、任意のオブジェクトまたは配列に、相互排他 (mutex) と同じ機能をさせることができます。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```

/*
FileName: ATEST16.java
The output of this example is as follows:
Entered the testcase
Synchronize to prevent access to shared data
Create/start the thread
Thread Thread-1: Entered
Thread Thread-2: Entered
Wait a bit until we're 'done' with the shared data
Thread Thread-3: Entered
Unlock shared data
Thread Thread-1: Start critical section, in synchronized block
Thread Thread-1: End critical section, leave synchronized block
Thread Thread-2: Start critical section, in synchronized block
Thread Thread-2: End critical section, leave synchronized block
Thread Thread-3: Start critical section, in synchronized block
Thread Thread-3: End critical section, leave synchronized block
Wait for the threads to complete
Testcase completed
*/
import java.lang.*;

public class ATEST16 {
    public final static int NUMTHREADS = 3;
    public static int sharedData = 0;
    public static int sharedData2 = 0;
    /* Any real java object or array would suit for synchronization */
    /* We invent one here since we have two unique data items to synchronize */
    /* An in this simple example, they're not in an object */
    static class theLock extends Object {
    }
    static public theLock lockObject = new theLock();

    static class theThread extends Thread {
    public void run() {
        System.out.print("Thread " + getName() + ": Entered\n");
        synchronized (lockObject) {
            /****** Critical Section *****/
            System.out.print("Thread " + getName() +
                ": Start critical section, in synchronized block\n");
            ++sharedData; --sharedData2;
            System.out.print("Thread " + getName() +
                ": End critical section, leave synchronized block\n");
            /****** Critical Section *****/
        }
    }
    }

    public static void main(String argv[]) {
        theThread threads[] = new theThread[NUMTHREADS];
        System.out.print("Entered the testcase\n");

        System.out.print("Synchronize to prevent access to shared data\n");
        synchronized (lockObject) {

            System.out.print("Create/start the thread\n");
            for (int i=0; i<NUMTHREADS; ++i) {
                threads[i] = new theThread();
                threads[i].start();
            }

            System.out.print("Wait a bit until we're 'done' with the shared data\n");
            try {
                Thread.sleep(3000);
            }
            catch (InterruptedException e) {

```

```

        System.out.print("sleep interrupted\n");
    }
    System.out.print("Unlock shared data\n");
}

System.out.print("Wait for the threads to complete\n");
for(int i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
    threads[i].join();
}
catch (InterruptedException e) {
    System.out.print("Join interrupted\n");
}
}

System.out.print("Testcase completed\n");
System.exit(0);
}
}

```

セマフォースレッド

セマフォース (カウント・セマフォースとも呼ばれる) は、共用リソースへのアクセスを制御するために使用します。セマフォースは、1 つのインテリジェント・カウンターと考えることができます。どのセマフォースにもカレント・カウントがあり、その値は 0 以上です。

どのスレッドもカウントを減分して、セマフォースをロックすることができます (このことを、セマフォース待機ともいいます)。0 を超えてカウントを減分しようとするると、呼び出し側のスレッドは別のスレッドが、そのセマフォースをアンロックするまで待機します。

どのスレッドもカウントを増分してセマフォースをアンロックすることができます (このことを、セマフォース通知ともいいます)。セマフォースを通知すると、待機中のスレッドがあればウェイクアップされます。

最も単純な形式 (初期カウント 1) では、セマフォースを 1 つの mutex (相互排他) と考えることができます。セマフォースと mutex の重大な違いは、所有権の概念です。セマフォースの場合、所有権は関連付けられません。mutex とは違い、セマフォースを一度も待機 (ロック) したことがないスレッドが、セマフォースを通知 (アンロック) することが可能なのです。そのために、アプリケーションが予期せぬ動作を起こすことがあるので、できるだけそのような操作は避けてください。

オペレーティング・システムは、以下のいくつかのセマフォース API の追加機能を提供しています。

- ファイル許可に似たセマフォース許可機能を含む、完成度の高い管理機能。
- いくつかのセマフォースをセットにグループ化し、そのグループに対してアトミックな操作を実行する機能。
- マルチカウント待機や通知操作を行う機能。
- セマフォースのカウントが 0 になるまで待機する機能。
- 特定の状況下で別のスレッドが実施した操作を取り消す機能。

注: Java には、セマフォースを使用する機能がありません。

例: 共用データを保護するためのセマフォの使用 (Pthread プログラム):

この例では、セマフォ・セットを使って共用データへのアクセスを保護するいくつかのスレッドを開始する、 Pthread プログラムを示しています。

注: コード例を使用すると、 86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST17.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST17
Wait on semaphore to prevent access to shared data
Create/start threads
Wait a bit until we are 'done' with the shared data
Thread 00000000 00000020: Entered
Thread 00000000 0000001f: Entered
Thread 00000000 0000001e: Entered
Unlock shared data
Wait for the threads to complete, and release their resources
Thread 00000000 0000001f: Start critical section, holding semaphore
Thread 00000000 0000001f: End critical section, release semaphore
Thread 00000000 00000020: Start critical section, holding semaphore
Thread 00000000 00000020: End critical section, release semaphore
Thread 00000000 0000001e: Start critical section, holding semaphore
Thread 00000000 0000001e: End critical section, release semaphore
Clean up
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <errno.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/ipc.h>
#include <sys/sem.h>
#include <sys/stat.h>

#define checkResults(string, val) { \
    if (val) { \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
        exit(1); \
    } \
}

#define NUMTHREADS 3
int sharedData=0;
int sharedData2=0;

/* Simple semaphore used here is actually a set of 1 */
int semaphoreId=-1;
/* Simple lock operation. 0=which-semaphore, -1=decrement, 0=noflags */
struct sembuf lockOperation = { 0, -1, 0};
/* Simple unlock operation. 0=which-semaphore, 1=increment, 0=noflags */
struct sembuf unlockOperation = { 0, 1, 0};

void *theThread(void *parm)
{
    int rc;
    printf("Thread %.8x %.8x: Entered\n", pthread_getthreadid_np());
    rc = semop(semaphoreId, &lockOperation, 1);
    checkResults("semop(lock)\n",rc);
    /***** Critical Section *****/
    printf("Thread %.8x %.8x: Start critical section, holding semaphore\n",
        pthread_getthreadid_np());
```

```

    /* Access to shared data goes here */
    ++sharedData; --sharedData2;
    printf("Thread %.8x %.8x: End critical section, release semaphore\n",
           pthread_getthreadid_np());
    /****** Critical Section *****/
    rc = semop(semaphoreId, &unlockOperation, 1);
    checkResults("semop(unlock)\n",rc);
    return NULL;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t      thread[NUMTHREADS];
    int            rc=0;
    int            i;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);
    /* Create a private semaphore set with 1 semaphore that only I can use */
    semaphoreId = semget(IPC_PRIVATE, 1, S_IRUSR|S_IWUSR);
    if (semaphoreId < 0) { printf("semget failed, err=%d\n",errno); exit(1); }
    /* Set the semaphore (#0 in the set) count to 1. Simulate a mutex */
    rc = semctl(semaphoreId, 0, SETVAL, (int)1);
    checkResults("semctl(SETALL)\n", rc);

    printf("Wait on semaphore to prevent access to shared data\n");
    rc = semop(semaphoreId, &lockOperation, 1);
    checkResults("semop(lock)\n",rc);

    printf("Create/start threads\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        rc = pthread_create(&thread[i], NULL, theThread, NULL);
        checkResults("pthread_create()\n", rc);
    }

    printf("Wait a bit until we are 'done' with the shared data\n");
    sleep(3);
    printf("Unlock shared data\n");
    rc = semop(semaphoreId, &unlockOperation, 1);
    checkResults("semop(unlock)\n",rc);

    printf("Wait for the threads to complete, and release their resources\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        rc = pthread_join(thread[i], NULL);
        checkResults("pthread_join()\n", rc);
    }

    printf("Clean up\n");
    rc = semctl(semaphoreId, 0, IPC_RMID);
    checkResults("semctl(removeID)\n", rc);
    printf("Main completed\n");
    return 0;
}

```

条件変数とスレッド

条件変数は、特定のイベントまたは条件が生じるまで、スレッドが待機できるようにします。また同じイベントまたは条件が生じるのを待っている他のスレッドにも通知します。

スレッドはある条件変数で待機し、その条件変数で待機している別のスレッドまたはすべてのスレッドがアクティブになるよう、条件をブロードキャストすることができます。条件変数は、他のプラットフォームにおけるイベントを使ったスレッドの同期化と同じように考えることができます。

あるスレッドが、待機しているすべてのスレッドをウェイクアップするよう、条件変数に信号を出したときに、その条件変数に待機しているスレッドがなければ、信号は廃棄され、いかなるアクションも実行されません。

注: あるスレッドが条件の信号を出した直後に、別のスレッドが何のアクションも実行せずその条件変数に待機を始めるということがあります。

相互排他 (mutex) を使用するロック・プロトコルは、通常、条件変数と共に使用されます。ロック・プロトコルを使用する場合、ウェイクアップのための信号がスレッドで失われないように、アプリケーションで保証することができます。

例: 条件変数の使用 (Pthread プログラム):

この例では、条件変数を使ってスレッドに条件を通知する Pthread プログラムを示しています。どのような相互排他 (mutex) ロック・プロトコルが使用されているかに注目してください。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST18.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST18
Create/start threads
Producer: 'Finding' data
Consumer Thread 00000000 00000022: Entered
Consumer Thread 00000000 00000023: Entered
Consumer Thread 00000000 00000022: Wait for data to be produced
Consumer Thread 00000000 00000023: Wait for data to be produced
Producer: Make data shared and notify consumer
Producer: Unlock shared data and flag
Producer: 'Finding' data
Consumer Thread 00000000 00000022: Found data or Notified, CONSUME IT while holding lock
Consumer Thread 00000000 00000022: Wait for data to be produced
Producer: Make data shared and notify consumer
Producer: Unlock shared data and flag
Producer: 'Finding' data
Consumer Thread 00000000 00000023: Found data or Notified, CONSUME IT while holding lock
Consumer Thread 00000000 00000023: Wait for data to be produced
Producer: Make data shared and notify consumer
Producer: Unlock shared data and flag
Producer: 'Finding' data
Consumer Thread 00000000 00000022: Found data or Notified, CONSUME IT while holding lock
Consumer Thread 00000000 00000022: All done
Producer: Make data shared and notify consumer
Producer: Unlock shared data and flag
Wait for the threads to complete, and release their resources
Consumer Thread 00000000 00000023: Found data or Notified, CONSUME IT while holding lock
Consumer Thread 00000000 00000023: All done
Clean up
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

#define checkResults(string, val) { \
    if (val) { \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
```

```

    exit(1);
}
}

#define NUMTHREADS 2
pthread_mutex_t dataMutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t dataPresentCondition = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
int dataPresent=0;
int sharedData=0;

void *theThread(void *parm)
{
    int rc;
    int retries=2;

    printf("Consumer Thread %.8x %.8x: Entered\n", pthread_getthreadid_np());
    rc = pthread_mutex_lock(&dataMutex);
    checkResults("pthread_mutex_lock()\n", rc);

    while (retries-- > 0) {
        /* The boolean dataPresent value is required for safe use of */
        /* condition variables. If no data is present we wait, other */
        /* wise we process immediately. */
        while (!dataPresent) {
            printf("Consumer Thread %.8x %.8x: Wait for data to be produced\n");
            rc = pthread_cond_wait(&dataPresentCondition, &dataMutex);
            if (rc) {
                printf("Consumer Thread %.8x %.8x: condwait failed, rc=%d\n",rc);
                pthread_mutex_unlock(&dataMutex);
                exit(1);
            }
        }
        printf("Consumer Thread %.8x %.8x: Found data or Notified, "
            "CONSUME IT while holding lock\n",
            pthread_getthreadid_np());
        /* Typically an application should remove the data from being */
        /* in the shared structure or Queue, then unlock. Processing */
        /* of the data does not necessarily require that the lock is held */
        /* Access to shared data goes here */
        --sharedData;
        /* We consumed the last of the data */
        if (sharedData==0) {dataPresent=0;}
        /* Repeat holding the lock. pthread_cond_wait releases it atomically */
    }
    printf("Consumer Thread %.8x %.8x: All done\n",pthread_getthreadid_np());
    rc = pthread_mutex_unlock(&dataMutex);
    checkResults("pthread_mutex_unlock()\n", rc);
    return NULL;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t thread[NUMTHREADS];
    int rc=0;
    int amountOfData=4;
    int i;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    printf("Create/start threads\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        rc = pthread_create(&thread[i], NULL, theThread, NULL);
        checkResults("pthread_create()\n", rc);
    }

    /* The producer loop */
    while (amountOfData-- > 0) {

```

```

printf("Producer: 'Finding' data\n");
sleep(3);

rc = pthread_mutex_lock(&dataMutex); /* Protect shared data and flag */
checkResults("pthread_mutex_lock()\n", rc);
printf("Producer: Make data shared and notify consumer\n");
++sharedData; /* Add data */
dataPresent=1; /* Set boolean predicate */

rc = pthread_cond_signal(&dataPresentCondition); /* wake up a consumer */
if (rc) {
pthread_mutex_unlock(&dataMutex);
printf("Producer: Failed to wake up consumer, rc=%d\n", rc);
exit(1);
}

printf("Producer: Unlock shared data and flag\n");
rc = pthread_mutex_unlock(&dataMutex);
checkResults("pthread_mutex_unlock()\n",rc);
}

printf("Wait for the threads to complete, and release their resources\n");
for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
rc = pthread_join(thread[i], NULL);
checkResults("pthread_join()\n", rc);
}

printf("Clean up\n");
rc = pthread_mutex_destroy(&dataMutex);
rc = pthread_cond_destroy(&dataPresentCondition);
printf("Main completed\n");
return 0;
}

```

例: 条件変数の使用 (Java プログラム):

この例では、Java オブジェクトで `wait` および `notify` メソッドの形で条件変数を使用する Java プログラムを示しています。どのようなロック・プロトコルが使用されているかに注目してください。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```

/*
FileName: ATEST18.java
The output of this example is as follows:
Entered the testcase
Create/start the thread
Consumer Thread-1: Entered
Consumer Thread-1: Wait for the data to be produced
Producer: 'Finding data
Consumer Thread-2: Entered
Consumer Thread-2: Wait for the data to be produced
Producer: Make data shared and notify consumer
Producer: Unlock shared data and flag
Consumer Thread-2: Found data or notified, CONSUME IT while holding inside the monitor
Consumer Thread-2: Wait for the data to be produced
Producer: 'Finding data
Producer: Make data shared and notify consumer
Producer: Unlock shared data and flag
Producer: 'Finding data
Consumer Thread-2: Found data or notified, CONSUME IT while holding inside the monitor
Consumer Thread-2: All done
Producer: Make data shared and notify consumer
Producer: Unlock shared data and flag
Producer: 'Finding data

```

```

Consumer Thread-1: Found data or notified, CONSUME IT while holding inside the monitor
Consumer Thread-1: Wait for the data to be produced
Producer: Make data shared and notify consumer
Producer: Unlock shared data and flag
Wait for the threads to complete
Consumer Thread-1: Found data or notified, CONSUME IT while holding inside the monitor
Consumer Thread-1: All done
Testcase completed
*/
import java.lang.*;

/* This class is an encapsulation of the condition variable plus */
/* mutex locking logic that can be seen in the Pthread example */
class theSharedData extends Object {
    int          dataPresent;
    int          sharedData;

    public theSharedData() {
        dataPresent=0;
        sharedData=0;
    }
    public synchronized void get() {
        while (dataPresent == 0) {
            try {
                System.out.print("Consumer " +
                                Thread.currentThread().getName() +
                                ": Wait for the data to be produced\n");
                wait();
            }
            catch (InterruptedException e) {
                System.out.print("Consumer " +
                                Thread.currentThread().getName() +
                                ": wait interrupted\n");
            }
        }
        System.out.print("Consumer " +
                        Thread.currentThread().getName() +
                        ": Found data or notified, CONSUME IT " +
                        "while holding inside the monitor\n");
        --sharedData;
        if (sharedData == 0) {dataPresent=0;}
        /* in a real world application, the actual data would be returned */
        /* here                                                                */
    }
    public synchronized void put() {
        System.out.print("Producer: Make data shared and notify consumer\n");
        ++sharedData;
        dataPresent=1;
        notify();
        System.out.print("Producer: Unlock shared data and flag\n");
        /* unlock occurs when leaving the synchronized method */
    }
}

public class ATEST18 {
    public final static int NUMTHREADS = 2;
    public static theSharedData dataConditionEncapsulation = new theSharedData();

    static class theThread extends Thread {
        public void run() {
            int    retries=2;

            System.out.print("Consumer " + getName() + ": Entered\n");
            while (retries-- != 0) {
                dataConditionEncapsulation.get();
                /* Typically an application would process the data outside */
            }
        }
    }
}

```

```

        /* the monitor (synchronized get method here)          */
    }
    System.out.print("Consumer " + getName() + ": All done\n");
}
}

public static void main(String argv[]) {
    int          amountOfData = 4;
    theThread threads[] = new theThread[NUMTHREADS];
    System.out.print("Entered the testcase\n");

    System.out.print("Create/start the thread\n");
    for (int i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
threads[i] = new theThread();
        threads[i].start();
    }

    while (amountOfData-- != 0) {
        System.out.print("Producer: 'Finding data\n");
        try {
            Thread.sleep(3000);
        }
        catch (InterruptedException e) {
            System.out.print("sleep interrupted\n");
        }
        dataConditionEncapsulation.put();
    }

    System.out.print("Wait for the threads to complete\n");
    for(int i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
try {
        threads[i].join();
    }
    catch (InterruptedException e) {
        System.out.print("Join interrupted\n");
    }
    }

    System.out.print("Testcase completed\n");
    System.exit(0);
}
}

```

同期化プリミティブとしてのスレッド

1 つのスレッドが、別のスレッドが完了するまで待機するときは、スレッド自体を同期化プリミティブとして使用することができます。

ターゲットのスレッドが、すべてのアプリケーション・コードの実行を完了するまで、待機状態のスレッドは処理を行いません。他の同期化テクニックと比べると、この同期化メカニズムには少しの連携しかありません。

同期化プリミティブとして使用するスレッドには、他の同期化テクニックには見られる、所有者という概念がありません。スレッドは、ただ別のスレッドの処理が完了し、スレッドが終了するのを待つだけです。

関連概念:

21 ページの『スレッドを終了する』

スレッドが処理を完了すると、終了のアクションを取り、システム・リソースを解放して他のスレッドが使用できるようにします。

スペース・ロケーション・ロック

スペース・ロケーション・ロックは、記憶域の任意の単一バイトに対する論理ロックを取得します。ロックにより記憶域の内容が変更されたり、アプリケーションから記憶域へのアクセスが影響されたりすることはありません。ロックは、システムが記録する情報の一片にすぎません。

スペース・ロケーション・ロックは、相互排他 (mutex) が提供するのと同じような連携ロックを提供します。ただし、スペース・ロケーション・ロックはいくつかの点で mutex と異なります。

- スペース・ロケーション・ロックは、保護対象となっているデータに直接使用することができます。スペース・ロケーション・ロックを使用するために、アプリケーションで追加オブジェクトを作成または保守する必要はありません。とはいえ、データにアクセスしているすべてのスレッドがスペース・ロケーション・ロックを使用していないと、アプリケーションは正しい結果を得られません。
- スペース・ロケーション・ロックにより、アプリケーションは、さまざまなロック要求タイプの使用を調整することができます。例えば、スペース・ロケーション・ロックを使うと、2 つ以上のスレッドが同一データに対して共用ロックを取得することができます。
- スペース・ロケーション・ロックでは追加のロック・タイプが提供されているため、所有者の概念が mutex とは微妙に異なります。各所有者が共用ロックを正常に取得できたのであれば、1 つの共用ロックに複数の所有者がいるということもあります。1 つのスレッドが排他ロックを取得するには、すべての共用ロックをアンロックしなければなりません。
- スペース・ロケーション・ロックがパフォーマンスに対して与える影響は、アプリケーションと mutex では異なります。スペース・ロケーション・ロックの場合、他のスレッドとの競合を避けて 1 つのパスをロックするには、約 500 個の RISC (縮小命令セット・コンピューター) 命令が必要です。mutex では同じパスで約 50 個の RISC 命令で済みます。ただし、作成や削除の場合、スペース・ロケーション・ロックでは命令は何も必要ありませんが、mutex では約 1000 個の RISC 命令が必要です。

注: Java には、スペース・ロケーション・ロックを直接使用する機能がありません。スペース・ロケーション・ロックを使用するには、ポインターの使用が必要だからです。

例: スペース・ロケーションのロック (Pthread プログラム):

この例では、同期化のためのスペース・ロケーション・ロックを使用して、整数を動的に初期化する Pthread プログラムを示しています。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST19.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST19
Hold Lock to prevent access to shared data
Create/start threads
Thread 00000000 00000025: Entered
Wait a bit until we are 'done' with the shared data
Thread 00000000 00000026: Entered
```

```

Thread 00000000 00000027: Entered
Unlock shared data
Wait for the threads to complete, and release their resources
Thread 00000000 00000025: Start critical section, holding lock
Thread 00000000 00000025: End critical section, release lock
Thread 00000000 00000026: Start critical section, holding lock
Thread 00000000 00000026: End critical section, release lock
Thread 00000000 00000027: Start critical section, holding lock
Thread 00000000 00000027: End critical section, release lock
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <mih/milckcom.h> /* Lock types */
#include <mih/locks1.h> /* LOCKSL instruction */
#include <mih/unlocks1.h> /* UNLOCKSL instruction */

#define checkResults(string, val) { \
    if (val) { \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
        exit(1); \
    } \
}

#define NUMTHREADS 3
int sharedData=0;
int sharedData2=0;

void *theThread(void *parm)
{
    int rc;
    printf("Thread %.8x %.8x: Entered\n", pthread_getthreadid_np());
    locks1(&sharedData, _LENR_LOCK); /* Lock Exclusive, No Read */
    /***** Critical Section *****/
    printf("Thread %.8x %.8x: Start critical section, holding lock\n",
        pthread_getthreadid_np());
    /* Access to shared data goes here */
    ++sharedData; --sharedData2;
    printf("Thread %.8x %.8x: End critical section, release lock\n",
        pthread_getthreadid_np());
    unlocks1(&sharedData, _LENR_LOCK); /* Unlock Exclusive, No Read */
    /***** Critical Section *****/
    return NULL;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t thread[NUMTHREADS];
    int rc=0;
    int i;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    printf("Hold Lock to prevent access to shared data\n");
    locks1(&sharedData, _LENR_LOCK); /* Lock Exclusive, No Read */

    printf("Create/start threads\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        rc = pthread_create(&thread[i], NULL, theThread, NULL);
        checkResults("pthread_create()\n", rc);
    }

    printf("Wait a bit until we are 'done' with the shared data\n");
    sleep(3);
}

```

```

printf("Unlock shared data\n");
unlocksl(&sharedData, _LENR_LOCK); /* Unlock Exclusive, No Read */

printf("Wait for the threads to complete, and release their resources\n");
for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
rc = pthread_join(thread[i], NULL);
checkResults("pthread_join()\n", rc);
}

printf("Main completed\n");
return 0;
}

```

関連概念:

56 ページの『一回限りの初期化とスレッド・セーフティー』

状況によっては、リソースの初期化を、スレッドがそのリソースを必要とするまで遅らせる必要があるかもしれません。ただし、アプリケーションによっては複数のスレッドが特定のリソースを使用する必要があるかもしれず、その場合はリソースをスレッド・セーフな方法で一回のみ初期化しなければなりません。

オブジェクト・ロック

オブジェクト・ロックを使用すれば、特定のシステムまたはアプリケーション・オブジェクトに対してロックを取得することができます。

場合によっては、ユーザーが特定のオブジェクトに対して実行するアクションに対して、システムがオブジェクト・ロックを取得することもあります。システムは、いくつかのアクションに対してオブジェクト・ロックを施行します。

オブジェクト・ロックを取得するとき、ロックをスレッド内で有効にしたり (スレッド有効範囲)、プロセス内で有効にしたり (プロセス有効範囲) することができます。同じプロセス内の 2 つのスレッドそれぞれが、1 つのシステム・オブジェクトに対するプロセス有効範囲ロックの取得を試みると、どちらのスレッドにもロックが与えられます。それらが同じプロセスに含まれているなら、一方のスレッドが、他方のスレッドがロックを取得するのを阻止することはありません。

オブジェクト・ロックを使って、同じプロセス内の 2 つのスレッドが、あるオブジェクトにアクセスできないようにするには、スレッド有効範囲のオブジェクト・ロックを使用する必要があります。スレッド有効範囲のオブジェクト・ロックは、同一プロセスにより取得されたプロセス有効範囲のオブジェクト・ロックと競合しません。

オブジェクト・ロックにより、アプリケーションは、さまざまなロック要求タイプの使用を調整することができます。2 つ以上のスレッドが、同じシステム・オブジェクトに対して共用のスレッド有効範囲ロックを取得することができます。アプリケーションは、スペース・ロックの場合と同じような方法でさまざまなタイプのオブジェクト・ロックを取得することができます。このように、2 つ以上のスレッドが 1 つのターゲットに対してスレッド有効範囲の共用ロックを取得することができます。

オブジェクト・ロックでは余分のロック・タイプが提供されているため、オブジェクト・ロックの所有者の概念が相互排他 (mutex) とは微妙に異なります。スレッド有効範囲の共用ロックには、複数の所有者がいるということもあります。各所有者

がスレッド有効範囲の共用ロックを正常に取得できたのであれば、1つのスレッドがスレッド有効範囲の排他ロックを取得するには、すべての共用ロックをアンロックしなければなりません。

一回限りの初期化とスレッド・セーフティー

状況によっては、リソースの初期化を、スレッドがそのリソースを必要とするまで遅らせる必要があるかもしれません。ただし、アプリケーションによっては複数のスレッドが特定のリソースを使用する必要があるかもしれず、その場合はリソースをスレッド・セーフな方法で一回のみ初期化しなければなりません。

いくつかの方法を使用して、スレッド・セーフな方法で、複数回使用されるリソースを初期化することができます。そのほとんどの方法は、必要な初期化が完了したかどうかを、アプリケーションがすばやく判別できるようブール値を使用します。ブール・フラグに加えて同期化テクニックも使用し、初期化が完了したことを確認します。

関連概念:

63 ページの『スレッド・セーフでない関数呼び出し』
時折、マルチスレッド・アプリケーションが、スレッド・セーフではない関数やシステム・サービスへのアクセスを必要とすることがあります。それらの関数を呼び出す、安全な代替方法がいくつかあります。

66 ページの『一般的なマルチスレッド・プログラミング・エラー』
マルチスレッド・アプリケーションの作成時に頻繁に発生するプログラミング・エラーがいくつかあります。

関連資料:

53 ページの『例: スペース・ロケーションのロック (Pthread プログラム)』
この例では、同期化のためのスペース・ロケーション・ロックを使用して、整数を動的に初期化する Pthread プログラムを示しています。

58 ページの『スレッド専用のデータ』
2つの方法、すなわちスレッド・ローカル記憶域とスレッド固有のデータを使用して、スレッド専用のデータを作成することができます。

例: 一回限りの初期化 (Pthread プログラム)

この例は、一回限りの初期化サポートを使って、整数を動的に初期化する Pthread プログラムを示しています。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST20.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST20
Create/start threads
Wait for the threads to complete, and release their resources
Thread 00000000 00000007: Entered
Thread 00000000 00000000: INITIALIZE RESOURCE
Thread 00000000 00000007: The resource is 42
Thread 00000000 00000006: Entered
Thread 00000000 00000009: Entered
Thread 00000000 00000008: Entered
Thread 00000000 0000000a: Entered
Thread 00000000 00000006: The resource is 42
```

```

Thread 00000000 0000000a: The resource is 42
Thread 00000000 00000009: The resource is 42
Thread 00000000 00000008: The resource is 42
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

#define checkResults(string, val) {
    if (val) {
        printf("Failed with %d at %s", val, string);
        exit(1);
    }
}

#define NUMTHREADS 5
pthread_once_t oneTimeInit = PTHREAD_ONCE_INIT;
int initialized = 0;
int resource = 0;

void initFunction(void)
{
    printf("Thread %.8x %.8x: INITIALIZE RESOURCE\n");
    resource = 42;
    /* Ensure that all initialization is complete and flushed */
    /* to storage before turning on this boolean flag */
    /* Perhaps call a function or register an exception */
    /* that causes an optimization boundary */
    initialized = 1;
}

void *theThread(void *parm)
{
    int rc;
    printf("Thread %.8x %.8x: Entered\n", pthread_getthreadid_np());
    if (!initialized) {
        rc = pthread_once(&oneTimeInit, initFunction);
        checkResults("pthread_once()\n", rc);
    }
    printf("Thread %.8x %.8x: The resource is %d\n",
        pthread_getthreadid_np(), resource);
    return NULL;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t thread[NUMTHREADS];
    int rc=0;
    int i;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    printf("Create/start threads\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        rc = pthread_create(&thread[i], NULL, theThread, NULL);
        checkResults("pthread_create()\n", rc);
    }

    printf("Wait for the threads to complete, and release their resources\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        rc = pthread_join(thread[i], NULL);
        checkResults("pthread_join()\n", rc);
    }
}

```

```
printf("Main completed\n");  
return 0;  
}
```

スレッド専用のデータ

2 つの方法、すなわちスレッド・ローカル記憶域とスレッド固有のデータを使用して、スレッド専用のデータを作成することができます。

スレッド・ローカル記憶域

スレッド・ローカル記憶域はオペレーティング・システムによって実装され、スレッド固有記憶域は API が実装されている点を除いて、スレッド・ローカル記憶域はスレッド固有記憶域に似ています。結果として、スレッド・ローカル記憶域はスレッド固有記憶域よりも高速でしかも容易に使用できます。

ILE C、ILE C++、および ILE RPG コンパイラーはスレッド・ローカル記憶域をサポートしています。

スレッド固有のデータ

スレッド固有のデータを使用すると、スレッドで使用するグローバル記憶域を他のスレッドから見えなくしておくことができます。

マルチスレッド・アプリケーションで実行するアプリケーション、またはアプリケーション・サービスを変更する場合、同期化テクニックを使って、グローバル記憶域が複数のスレッドにより、同時に変更されることがないようにしなければなりません。

アプリケーションの設計によっては、多数のスレッドがアプリケーションのグローバル記憶域を共有している場合に、スレッドが正しく機能しないことがあります。グローバル記憶域の除去が可能でない場合は、スレッド固有データの使用を検討してください。

例として、クライアントに関する情報と現行トランザクションを、グローバル記憶域に格納するサーバーについて考慮してみましょ。このサーバーは、かなりの再設計を施さないかぎり、マルチスレッド環境でクライアント情報を共有することはできません。アプリケーションは、グローバル・クライアント情報を使用する代わりに、関数から関数へとクライアント情報を渡すことができます。

ただし、グローバル記憶域を使用しないようにアプリケーションを変更するよりも、スレッド固有データを使用するようにアプリケーションを変更する方が簡単です。新しいスレッドの作成時に、スレッドは、グローバル識別コード (またはキー) を使ってスレッド固有データを作成または格納します。こうして各クライアント (スレッド) は、固有かつグローバルなクライアント・データを持つようになります。

加えて、いくつかの API は、システムがデータ・デストラクター関数を自動的に呼び出す方法を提供しています。この関数は、スレッドの終了時にスレッド固有データをクリーンアップします。

関連概念:

56 ページの『一回限りの初期化とスレッド・セーフティー』

状況によっては、リソースの初期化を、スレッドがそのリソースを必要とするまで遅らせる必要があるかもしれません。ただし、アプリケーションによっては複数のスレッドが特定のリソースを使用する必要があるかもしれず、その場合はリソースをスレッド・セーフな方法で一回のみ初期化しなければなりません。

関連資料:



WebSphere Development Studio: ILE C/C++ Language Reference



Websphere Development Studio: ILE RPG Reference

例: Pthread プログラムのスレッド・ローカル記憶域

この例では、スレッド・ローカル記憶域を使用した Pthread プログラムを示しています。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST22TLS.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST22TLS
Create/start threads
Wait for the threads to complete, and release their resources
Thread 0000000000000036: Entered
Thread 0000000000000037: Entered
Thread 0000000000000036: foo(), TLS data=0 2
Thread 0000000000000036: bar(), TLS data=0 2
Thread 0000000000000037: foo(), TLS data=1 4
Thread 0000000000000037: bar(), TLS data=1 4
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>

void foo(void); /* Functions that use the TLS data */
void bar(void);

#define checkResults(string, val) {           \
    if (val) {                               \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
        exit(1);                             \
    }                                         \
}

__thread int TLS_data1;
__thread int TLS_data2;

#define NUMTHREADS 2

typedef struct {
    int data1;
    int data2;
} threadparm_t;

void *theThread(void *parm)
{
    int rc;
    threadparm_t *gData;
```

```

    printf("Thread %.16llx: Entered\n", pthread_getthreadid_np());

    gData = (threadparm_t *)parm;

    TLS_data1 = gData->data1;
    TLS_data2 = gData->data2;

    foo();
    return NULL;
}

void foo() {
    printf("Thread %.16llx: foo(), TLS data=%d %d\n",
        pthread_getthreadid_np(), TLS_data1, TLS_data2);
    bar();
}

void bar() {
    printf("Thread %.16llx: bar(), TLS data=%d %d\n",
        pthread_getthreadid_np(), TLS_data1, TLS_data2);
    return;
}

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t      thread[NUMTHREADS];
    int            rc=0;
    int            i;
    threadparm_t   gData[NUMTHREADS];

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);

    printf("Create/start threads\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; i++) {
        /* Create per-thread TLS data and pass it to the thread */
        gData[i].data1 = i;
        gData[i].data2 = (i+1)*2;
        rc = pthread_create(&thread[i], NULL, theThread, &gData[i]);
        checkResults("pthread_create()\n", rc);
    }

    printf("Wait for the threads to complete, and release their resources\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; i++) {
        rc = pthread_join(thread[i], NULL);
        checkResults("pthread_join()\n", rc);
    }

    printf("Main completed\n");
    return 0;
}

```

例: スレッド固有データ (Pthread プログラム)

この例では、スレッド固有データを作成する Pthread プログラムを示しています。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```

/*
Filename: ATEST22.QCSRC
The output of this example is as follows:
Enter Testcase - LIBRARY/ATEST22
Create/start threads
Wait for the threads to complete, and release their resources
Thread 00000000 00000036: Entered
Thread 00000000 00000036: foo(), threadSpecific data=0 2

```

```

Thread 00000000 00000036: bar(), threadSpecific data=0 2
Thread 00000000 00000036: Free data
Thread 00000000 00000037: Entered
Thread 00000000 00000037: foo(), threadSpecific data=1 4
Thread 00000000 00000037: bar(), threadSpecific data=1 4
Thread 00000000 00000037: Free data
Main completed
*/
#define _MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

void foo(void); /* Functions that use the threadSpecific data */
void bar(void);
void dataDestructor(void *data);

#define checkResults(string, val) {
    if (val) {
        printf("Failed with %d at %s", val, string);
        exit(1);
    }
}

typedef struct {
    int threadSpecific1;
    int threadSpecific2;
} threadSpecific_data_t;

#define NUMTHREADS 2
pthread_key_t threadSpecificKey;

void *theThread(void *parm)
{
    int rc;
    threadSpecific_data_t *gData;
    printf("Thread %.8x %.8x: Entered\n", pthread_getthreadid_np());
    gData = (threadSpecific_data_t *)parm;
    rc = pthread_setspecific(threadSpecificKey, gData);
    checkResults("pthread_setspecific()\n", rc);
    foo();
    return NULL;
}

void foo() {
    threadSpecific_data_t *gData = pthread_getspecific(threadSpecificKey);
    printf("Thread %.8x %.8x: foo(), threadSpecific data=%d %d\n",
        pthread_getthreadid_np(), gData->threadSpecific1, gData->threadSpecific2);
    bar();
}

void bar() {
    threadSpecific_data_t *gData = pthread_getspecific(threadSpecificKey);
    printf("Thread %.8x %.8x: bar(), threadSpecific data=%d %d\n",
        pthread_getthreadid_np(), gData->threadSpecific1, gData->threadSpecific2);
    return;
}

void dataDestructor(void *data) {
    printf("Thread %.8x %.8x: Free data\n", pthread_getthreadid_np());
    pthread_setspecific(threadSpecificKey, NULL);
    free(data);
}

```

```

int main(int argc, char **argv)
{
    pthread_t          thread[NUMTHREADS];
    int                rc=0;
    int                i;
    threadSpecific_data_t *gData;

    printf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]);
    rc = pthread_key_create(&threadSpecificKey, dataDestructor);
    checkResults("pthread_key_create()\n", rc);

    printf("Create/start threads\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; i++) {
        /* Create per-thread threadSpecific data and pass it to the thread */
        gData = (threadSpecific_data_t *)malloc(sizeof(threadSpecific_data_t));
        gData->threadSpecific1 = i;
        gData->threadSpecific2 = (i+1)*2;
        rc = pthread_create(&thread[i], NULL, theThread, gData);
        checkResults("pthread_create()\n", rc);
    }

    printf("Wait for the threads to complete, and release their resources\n");
    for (i=0; i < NUMTHREADS; i++) {
        rc = pthread_join(thread[i], NULL);
        checkResults("pthread_join()\n", rc);
    }

    pthread_key_delete(threadSpecificKey);
    printf("Main completed\n");
    return 0;
}

```

例: スレッド固有データ (Java プログラム)

この例は、スレッド固有データを作成する Java プログラムを示しています。Java スレッドがオブジェクトに作成されているため、スレッド固有データの使用は透過的です。

Java はガーベッジ・コレクションを行う言語です。データ・デストラクターまたは他のクリーンアップ・アクションがないことに注目してください。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```

/*
FileName: ATEST22.java
The output of this example is as follows:
Entered the testcase
Create/start threads
Thread Thread-1: Entered
Thread Thread-1: foo(), threadSpecific data=0 2
Thread Thread-1: bar(), threadSpecific data=0 2
Wait for the threads to complete
Thread Thread-2: Entered
Thread Thread-2: foo(), threadSpecific data=1 4
Thread Thread-2: bar(), threadSpecific data=1 4
Testcase completed
*/
import java.lang.*;

public class ATEST22 {
    public final static int NUMTHREADS = 2;

    static class theThread extends Thread {

```

```

int            threadSpecific1;
int            threadSpecific2;

public theThread(int i, int i2) {
    threadSpecific1 = i;
    threadSpecific2 = i2;
}
public void run() {
    System.out.print("Thread " + getName() +
                    ": Entered\n");

    foo();
    return;
}
void foo() {
    System.out.print("Thread " + getName() +
                    ": foo(), threadSpecific data=" +
                    String.valueOf(threadSpecific1) + " " +
                    String.valueOf(threadSpecific2) + "\n");

    bar();
}
void bar() {
    System.out.print("Thread " + getName() +
                    ": bar(), threadSpecific data=" +
                    String.valueOf(threadSpecific1) + " " +
                    String.valueOf(threadSpecific2) + "\n");
}
}

public static void main(String argv[]) {
    System.out.print("Entered the testcase\n");

    System.out.print("Create/start threads\n");
    theThread threads[] = new theThread[NUMTHREADS];
    for (int i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        threads[i] = new theThread(i, (i+1)*2);
        threads[i].start();
    }

    System.out.print("Wait for the threads to complete\n");
    for (int i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        try {
            threads[i].join();
        }
        catch (InterruptedException e) {
            System.out.print("Join interrupted\n");
        }
    }
    System.out.print("Testcase completed\n");
    System.exit(0);
}
}

```

スレッド・セーフでない関数呼び出し

時折、マルチスレッド・アプリケーションが、スレッド・セーフではない関数やシステム・サービスへのアクセスを必要とすることがあります。それらの関数を呼び出す、安全な代替方法がいくつかあります。

代替方法を理解するために、API `foo()` を呼び出すプログラムを例として用います。関数 `foo()` はスレッド・セーフではないものとしてリストされているため、安全な呼び出し方法を見いださなければなりません。一般的な 2 つのオプションは、グローバルな `mutex` (相互排他) を使用する方法と、スレッド・セーフではない関数を呼び出す別個のジョブを使用する方法です。

関連概念:

33 ページの『スレッド・セーフティー』

ある関数がスレッド・セーフであるのは、同一プロセス内の複数のスレッドで同時にその関数を開始できる場合です。ある関数がスレッド・セーフであるのは、その関数から呼び出されるすべての関数がスレッド・セーフである場合のみです。

40 ページの『スレッド間の同期化テクニック』

作成しているコードがスレッド・セーフではあるが、スレッド間でのデータまたはリソースの共用から利点を得る場合、プログラミングの最も重要な点はスレッドの同期化を行う能力です。

56 ページの『一回限りの初期化とスレッド・セーフティー』

状況によっては、リソースの初期化を、スレッドがそのリソースを必要とするまで遅らせる必要があるかもしれません。ただし、アプリケーションによっては複数のスレッドが特定のリソースを使用する必要があるかもしれず、その場合はリソースをスレッド・セーフな方法で一回のみ初期化しなければなりません。

66 ページの『一般的なマルチスレッド・プログラミング・エラー』

マルチスレッド・アプリケーションの作成時に頻繁に発生するプログラミング・エラーがいくつかあります。

関連資料:

36 ページの『CL コマンドとスレッド・セーフティー』

Integrated Language Environment (ILE) CL ランタイムおよびコンパイラ生成コードは、スレッド・セーフです。オリジナル・プログラム・モデル (OPM) CL プログラムは、スレッド・セーフではありません。

72 ページの『ILE COBOL 言語でのスレッドの考慮事項』

モジュールへのアクセスをシリアル化することによりマルチスレッド環境で安全に実行可能な、Integrated Language Environment (ILE) COBOL モジュールを作成することができます。

スレッド・セーフでない関数を呼び出すグローバル mutex の使用

スレッド・セーフではない関数を呼び出すには、グローバル相互排他 (mutex) を使用することができます。

foo() を呼び出すときに、FOO MUTEX と呼ばれる mutex のロックを試行することができます。この方法は foo() の内部部分についてすべて理解している場合は成功しますが、一般的なオペレーティング・システム関数の場合、安全性として完全ではありません。

例えば、API foo() はスレッド・セーフではありません。なぜなら foo() は API bar() を呼び出し、bar() は threadUnsafeFoo() を呼び出すからです。

threadUnsafeFoo() 関数が特定の記憶域および制御ブロックを使う方法は、安全ではありません。この例では、記憶域および制御ブロックを DATA1 と呼びます。

API threadUnsafeFoo() は安全でないため、foo() を使うアプリケーションやシステム・サービスはどれもスレッド・セーフではありません。それを複数のスレッドに対して使用すると、データが損傷を受けたり、未定義の結果が出されることがあるからです。

例のアプリケーションも、wiffle() と呼ばれるスレッド・セーフ API またはシステム・サービスを使用します。wiffle() は waffle() を呼び出しますが、waffle() はス

レッド・セーフである方法で記憶域および制御ブロック DATA1 にアクセスします。(つまり、waffle() と、他の API から成るグループは内部 DATA1 MUTEX を使用します。)

例のアプリケーションは、foo() と wiffle() システム・サービス間の基礎的な DATA1 接続を把握していません。そのため、アプリケーションは wiffle() を呼び出す前に FOO MUTEX をロックしません。FOO MUTEX を保留にしている foo() への呼び出しが wiffle() への呼び出しと同時にあったときに、アプリケーションがスレッド・セーフでない関数 foo() を使用しようとする、DATA1 とそれが表している実体は損傷を受けます。

このシナリオも複雑ですが、実際にはより複雑です。関係しているすべての関数の内部詳細がわからないまま障害を解決するようなことがあるからです。

独自で開発したシリアル化により、オペレーティング・システムのサービスや関数をスレッド・セーフにすることは試行しないでください。

スレッド・セーフでない関数を呼び出す個別ジョブの使用

新しいジョブを実行依頼して必要な処理を完了するための、スレッド・セーフなメカニズムがいくつかあります。

- アプリケーションがスレッド・セーフではない CL コマンドを使用する場合は、システム API Qp0zSystem() を使用することができます。この API は C 言語の system() 関数と似ていますが、違う点として、CL コマンドを実行する前に新しいプロセスを開始します。また実行した CL コマンドの結果についての情報も戻します。Qp0zSystem() の詳細については、System API Programming Reference を参照してください。
- アプリケーションがスレッド・セーフではない、API またはプログラムを呼び出す場合、spawn() API を使って新しいジョブを開始することができます。spawn() API を使用する場合、アプリケーション環境のどの部分を子プロセスに複製するかをアプリケーションで決定する必要があります。spawn() API では、開かれた統合ファイル・システム・ファイル、ソケット、または他のリソースを親から子プロセスに継承することができます。spawn() の詳細については、System API Programming Reference を参照してください。
- アプリケーションがスレッド・セーフではない複数の関数を、頻繁に使用する場合があります。その場合は、上に記述したメカニズムの 1 つを使って新しいジョブを開始してください。その新しいジョブは、アプリケーションから要求が出されたときに、スレッド・セーフではないコードを実行するサーバーとして、機能することができます。アプリケーションは、メッセージ待ち行列、データ待ち行列、またはセマフォを使いながら、サーバーと通信することができます。

これらのジョブ・メカニズムのいずれかを使用する場合、異なるジョブを使ってアプリケーション処理を完了することに伴う、以下の問題に注意しなければなりません。

• 入出力考慮事項

アプリケーションの入出力処理と対立することなく、サーバー・ジョブが通常の入出力処理を実行することはできません。アプリケーションの入出力処理は、シ

ステム・オブジェクトで保守されているファイル・オフセットまたはロックに影響することがあります。入出力処理の試行が、ジョブ間で競合するかもしれません。

- パラメーター引き渡し

スレッド・セーフではない関数に、ポインターまたはその他のタイプの複合パラメーターを渡すのは困難です。この関数は、別個のジョブで実行されます。その関数に複合データを渡すときに生じる問題を解決する必要があります。

- 関数呼び出しの戻り

スレッド・セーフではない関数の結果は、上記のメカニズムで生じる、成功または失敗などの単純な情報より複雑になることがあります。このケースは上記のパラメーター引き渡し問題と似ています。

- ジョブ属性

アプリケーション環境をサーバー・ジョブで複製しようとする、さらに複雑な問題が生じることがあります。例えば、ユーザー ALICE としてアプリケーションを起動し、ユーザー BOB としてサーバー・ジョブを開始すると、アプリケーションは正しく動作しません。

一般的なマルチスレッド・プログラミング・エラー

マルチスレッド・アプリケーションの作成時に頻繁に発生するプログラミング・エラーがいくつかあります。

関連概念:

56 ページの『一回限りの初期化とスレッド・セーフティ』

状況によっては、リソースの初期化を、スレッドがそのリソースを必要とするまで遅らせる必要があるかもしれません。ただし、アプリケーションによっては複数のスレッドが特定のリソースを使用する必要があるかもしれず、その場合はリソースをスレッド・セーフな方法で一回のみ初期化しなければなりません。

63 ページの『スレッド・セーフでない関数呼び出し』

時折、マルチスレッド・アプリケーションが、スレッド・セーフではない関数やシステム・サービスへのアクセスを必要とすることがあります。それらの関数を呼び出す、安全な代替方法がいくつかあります。

73 ページの『マルチスレッド・ジョブのデバッグとサービス』

これらの概念と手法は、マルチスレッド・ジョブのデバッグとサービスに役立ちます。

関連情報:

Troubleshooting Pthread errors

スレッド・セーフでない関数の呼び出し

スレッド・アプリケーションの作成時に最も頻繁に起きるプログラミング・エラーは、スレッド・セーフでない API またはシステム・サービスの使用です。

アプリケーションは、呼び出す各 API について、またそれがプロバイダーによりスレッド・セーフと認定されているかどうかを把握していなければなりません。API は他のスレッド・セーフである API またはシステム・サービスを呼ぶ出す場合のみ、スレッド・セーフとして認定されます。

このことは、特にアプリケーションから、制御下にないユーザー作成コードを呼び出すときに問題になります。スレッド・セーフティのためにこのコードを妥当性検査することはできません。ユーザー作成コードがスレッド・セーフでない場合、それをアプリケーションの独自のプロセス・コンテキストで呼び出すと、アプリケーション・データが損傷したり、アプリケーションが停止する可能性があります。

関連資料:

71 ページの『ILE C および ILE C++ 言語でのスレッドの考慮事項』
マルチスレッド・ジョブで呼び出す前に、既存の Integrated Language Environment (ILE) C および ILE C ++ アプリケーションがスレッド・セーフかどうかを判別しなければなりません。プログラムがスレッド・セーフでない場合のために、スレッド・セーフでないプログラムをマルチスレッド・ジョブから呼び出すテクニックがあります。

スレッド作成が許可されていないために生じる障害

IBM i オペレーティング・システムでのすべてのジョブがスレッド作成を許可されているわけではありません。

ジョブを作成するときに、ジョブが複数のスレッドを許可することを指示する特別なパラメーターを指定することができます。例えば、アプリケーション・プログラミング・インターフェース (API) `spawn()` がジョブを作成するために使用されると、継承パラメーターでマルチスレッド・フラグを指定できます。

ジョブ・タイプによっては、ジョブ記述を使用することによって開始するジョブがスレッドを許可するように、ジョブ記述の属性に指定することができます。そうするには、**ジョブ記述の作成 (CRTJOB)** コマンドまたは**ジョブ記述の変更 (CHGJOB)** コマンドの、マルチスレッド許可 (ALWMLTTHD) パラメーターを使用します。また、**ジョブ投入 (SBMJOB)** コマンドの ALWMLTTHD パラメーターを指定して、SBMJOB コマンドで使用されるジョブ記述に ALWMLTTHD(*YES) が指定されていない場合でもスレッドを作成することができます。

スレッドの開始を許可されていないジョブでスレッドの作成を試みると、スレッド作成は失敗します。障害の詳細については、使用している API または言語に固有の資料を参照してください。

また、アプリケーションが C++ 静的オブジェクトまたは C/C++ プログラム終了ルーチンのデストラクターを実行する場合も、スレッド作成が許可されていないために障害が発生する場合があります。ジョブの終了時にアプリケーション・コードでスレッドを作成することはできません。

活動化グループの終了

IBM i Integrated Language Environment (ILE) プログラム・モデルは、1 つのアプリケーション・プログラムのリソースを 1 つのジョブ内でカプセル化する方法として、活動化グループを使用します。

ジョブに、活動化グループを使用している可能性があるスレッドが複数存在している場合、システムは、その活動化グループを予測可能かつ安全な方法で終了することはできません。この問題を解決するため、マルチスレッド・ジョブで活動化グループを終了する方法は変更されました。

IBM i 6.1 およびそれ以前のリリースでは、マルチスレッド・アプリケーションの 2 次スレッドが、活動化グループを終了するアクション (C 関数の `exit()` や `abort()` など) を実行するか、あるいは活動化グループの終了を回避できない場合、システムは、その時点でジョブを終了します。IBM i 7.1 以降では、活動化グループが 2 次スレッドで終了し、その活動化グループが複数のスレッドで活動状態である場合にのみ、ジョブが終了します。

IBM i 6.1 およびそれ以前のリリースでは、マルチスレッド・アプリケーションの初期スレッドが、活動化グループを終了するアクションを実行するか、あるいは活動化グループの終了を回避できない場合、システムはジョブを終了しません。IBM i 7.1 以降では、マルチスレッド・アプリケーションの初期スレッドが、活動化グループを終了するアクションを実行するか、あるいは活動化グループの終了を回避できない場合、その活動化グループが複数のスレッドで活動状態である場合に、システムはジョブを終了します。

典型的な例は、*NEW 活動化グループ・プログラムが 2 次スレッドから呼び出される場合です。プログラムが終了すると、*NEW 活動化グループは破棄されます。IBM i 6.1 およびそれ以前のリリースでは、ジョブが終了します。

IBM i 6.1 およびそれ以前のリリースで、C ランタイムの `exit()` 関数のような HLL 終了 verb が 2 次スレッドから呼び出されると、ジョブが終了します。IBM i 7.1 以降では、終了される活動化グループが複数のスレッドで活動状態である場合にのみ、ジョブが終了します。

このトピックについて詳しくは、『活動化グループとスレッド』を参照してください。

スレッド・モデルの混合

Pthread API を、システムが提供する他のスレッド管理 API と混合しないでください。予測不能の結果の原因となる可能性があります。

例えば、Pthread と同じスレッドまたはプロセスで、Java や IBM Open Class® ライブラリー・スレッドの実装を使用しないでください。さらに重要なこととして、あるスレッド実装から、別の API 実装を使ってスレッドを操作することは試行しないでください。予期せぬ結果が生じる場合があります。

例えば、あるスレッドの優先順位が、Pthread インターフェースおよび非 Pthread インターフェースのどちらからでも操作できるとします。そのように操作していれば、優先順位は常に正しく設定されます。しかし、Pthread インターフェース `pthread_getschedparam()` から戻される優先順位が正しいのは、優先順位の設定が `pthread_setschedparam()` インターフェースまたは他のインターフェースのいずれか (両方ではない) を使ってなされた場合のみです。そのようにせずに、複数のインターフェースを使ってスレッドの優先順位を設定すると、`pthread_getschedparam()` からは、最後に使用した `pthread_setschedparam()` インターフェースで設定された、優先順位が戻されます。

同じように、アプリケーション・コードをネイティブのメソッドで実行している場合、`pthread_exit()` API を使って Java スレッドを終了することができます。ただし、`pthread_exit()` を使って Java スレッドを終了すると、予期しない結果が生じる

場合があります。例えば、いくつかの Java 環境スレッドの処理を無視する場合や、Java アプリケーションが予期していない、または処理できない方法で Java スレッドを終了してしまう場合があります。

マルチスレッド・プログラムでのコミット操作

IBM i オペレーティング・システムでのデータベース・トランザクションは、ジョブまたは活動化グループのいずれかに限定されます。

マルチスレッド・アプリケーションが複数のスレッドで、複数のデータベース・トランザクションを同時に実行する場合、1つのスレッドでのコミット操作により、別のスレッドの活動までコミットされることがあります。

例えば、あるアプリケーションに、client1 用のデータベース・トランザクションを実行している1つのスレッドと、client2 用のデータベース・トランザクションを実行している別のスレッドがあるとします。client1 用の処理を実行しているスレッドが処理を完了し、変更をコミットします。このコミット操作により、client2 のために加えられた変更もすべてコミットされます。そのため、アプリケーションは、進行中のトランザクションをすべて把握していなければなりません。

関連資料:

8 ページの『マルチスレッド・プログラミングでのデータベースについての考慮事項』

マルチスレッド・プログラムでデータベースを使用するときは、これらの考慮事項に注意してください。

データベース・レコードの入出力とスレッド・セーフティー

データベース・ファイルの入出力フィードバック領域を使って、入出力操作の結果をレコード入出力ユーザーに通知することができます。通常のアプリケーションでは、フィードバック領域の特性のためにスレッド・セーフティーの問題が生じるかもしれません。

入出力操作を実行する際、実行時サポートとデータベース・サポートにより入出力操作のスレッド・セーフティーが保証されます。入出力操作が完了した時点で、実行時サポートが保持していたロックがあれば解放され、制御がアプリケーションに戻されます。

入出力フィードバック領域を検査するときに、別のスレッドがその領域を同時に使用しないよう、アクセスをシリアル化するのはアプリケーションの責任です。COBOL と RPG はすべての入出力操作でフィードバック領域を使用します。そのため、同じ共用ファイルに対していくつかの異なる言語で入出力操作を実行する場合は、フィードバック領域を使用していないように思える場合でも、ファイルへのアクセスをシリアル化してください。

例えば、Thread 1 はレコード入出力操作でファイル A を使用しているとします。システムは、それらの操作に関する情報をファイル A のフィードバック領域に格納します。Thread 1 の入出力操作が完了すると、Thread 1 はフィードバック領域のフィールドを検査しながら、フィードバック領域を操作します。ファイル A へのアクセスをシリアル化することによってフィードバック領域を保護しなければ、Thread 2 はレコード入出力操作のためにファイル A を使用するとき、同じフィードバック領域を同時に使用します。結果として、Thread 2 がフィードバック領域を同時に

使用するため、Thread 1 には矛盾した結果が戻されることとなります。このようなことは、ファイルの共有がファイル・ポインターまたはファイル記述子番号を使って行われるときに生じます。ファイルが各スレッドで開かれているなら、問題は生じません。

他のアプリケーション・コードまたはシステムがフィードバック領域にアクセスしているときに、それらによって変更されることのないように、同期化テクニックを使ってフィードバック領域を保護してください。

関連資料:

8 ページの『マルチスレッド・プログラミングでのデータベースについての考慮事項』

マルチスレッド・プログラムでデータベースを使用するときは、これらの考慮事項に注意してください。

言語アクセスとスレッド

異なる言語がどのように IBM i オペレーティング・システム上でスレッドをサポートしているかを知れば、ご使用のアプリケーションでどのようにスレッドを実装すればよいかを判断できます。

このセクションで説明する概念は、すべてのプログラミング言語に当てはまりません。それぞれの言語でそれらの概念がどのように実現されているかについては、Information Center にある各言語の『言語 (Language)』のトピックを参照してください。

Java 言語でのスレッドの考慮事項

Java スレッドは、`java.lang.Thread` クラスを使用して IBM i カーネル・スレッド・モデルの上で稼働します。各 Java スレッドは、プロセスで実行される多くのタスクの 1 つです。

「スレッドの管理」セクションにリストされているすべてのアクティビティーが実行可能です。

Java 仮想マシン (JVM) は、Java ガーベッジ・コレクションなどのサービスを実行するときは、必ずいくつかのスレッドを作成します。これらのスレッドはシステムが使用するため、アプリケーションでは使用してはなりません。

Java で利用不能なシステム関数は、ネイティブ・メソッドを使ってアクセスしません。ネイティブ・メソッドは *PGM オブジェクトではありません。Integrated Language Environment (ILE) サービス・プログラム (*SRVPGM) からエクスポートされたプロシージャです。これらのネイティブ・メソッドは、常にマルチスレッド・プロセスで実行されるので、スレッド・セーフです。ILE COBOL、RPG IV、CL、C および C++ コンパイラーはスレッド・セーフです。

注: 標準的な C および C++ 関数がすべてスレッド・セーフではありません。Information Center の C および C++ (C and C++) のトピックを参照してください。

ILE プログラム (*PGM) オブジェクトを呼び出す必要があるときは、`java.lang.Runtime.exec()` を使って、プログラムを実行するための別のプロセスを開始します。

exit() および **abort()** の使用には十分注意してください。これらの関数はアプリケーションを終了します。プロセス、およびプロセスで実行中のすべてのスレッドも終了します。

関連概念:

84 ページの『例: スレッド』

この例は、マルチスレッド・アプリケーションのトピック・コレクション全体で使用されています。

ILE C および ILE C++ 言語でのスレッドの考慮事項

マルチスレッド・ジョブで呼び出す前に、既存の Integrated Language Environment (ILE) C および ILE C ++ アプリケーションがスレッド・セーフかどうかを判断しなければなりません。プログラムがスレッド・セーフでない場合のために、スレッド・セーフでないプログラムをマルチスレッド・ジョブから呼び出すテクニックがあります。

すべての ILE C/ C++ ライブラリー関数がスレッド・セーフではあるわけではありません。マルチスレッド対応ジョブでアプリケーションを呼び出す前に、

「*WebSphere® Development Studio: ILE C/C++ Compiler Reference PDF*」  およ

び「*Standard C++ Library Reference PDF*」  を参照し、すべての関数がスレッド・セーフであるかどうかを判断してください。

必要な場合は、以下の処置を行ってください。

- ILE C または ILE C++ アプリケーションを再作成します。

既存の ILE C または ILE C++ アプリケーションをマルチスレッド・ジョブで呼び出す前に、それら全部を **TGTRLS(*CURRENT)** を使ってコンパイルし、バインドします。

- IBM i 6.1 またはそれ以前のリリースが対象である場合は、*NEW 活動化グループを除去します。

IBM i 6.1 では、マルチスレッド・アプリケーションで *NEW 活動化グループを使用しないでください。IBM i 7.1 以降では、ご使用のアプリケーションが正しく設計されている場合は、2 次スレッドで *NEW 活動化グループ・プログラムを使用できることがあります。詳しくは、『活動化グループとスレッド』を参照してください。

注: ACTGRP(*ENTMOD) はプログラム作成 (**CRTPGM**) コマンドのデフォルトです。ILE C および ILE C++ では、ACTGRP(*ENTMOD) を指定すると ACTGRP(*NEW) が指定されたかのようにプログラムが作成されます。バインド **C プログラム作成 (CRTBNDC)** コマンド、またはバインド **C++ プログラム作成 (CRTBNDCPP)** コマンドを使用して作成されたプログラムは、活動化グループ属性 *NEW を持ちます。

関連資料:

66 ページの『スレッド・セーフでない関数の呼び出し』
スレッド・アプリケーションの作成時に最も頻繁に起きるプログラミング・エラー
は、スレッド・セーフでない API またはシステム・サービスの使用です。

ILE COBOL 言語でのスレッドの考慮事項

モジュールへのアクセスをシリアル化することによりマルチスレッド環境で安全に
実行可能な、Integrated Language Environment (ILE) COBOL モジュールを作成する
ことができます。

PROCESS ステートメントに THREAD (*SERIALIZE) を指定することによって、
ILE COBOL モジュールへのアクセスをシリアル化することができます。1 つのモ
ジュールをシリアル化すると、一度に 1 つのスレッドだけがそのモジュールで任意
のプロシージャーを実行できます。例えば、プロシージャー P1 および P2 を持つ
ているモジュールについて考えてみましょう。1 つのスレッドがプロシージャー
P1 を実行しているならば、そのスレッドが P1 の実行を完了するまで、他のスレ
ッドはプロシージャー P1 または P2 のいずれも実行できません。

モジュールをシリアル化したとしても、COBOL プログラマーは、グローバル記憶
域とヒープ記憶域がスレッド・セーフな方法でアクセスされるようにしなければな
りません。たとえ COBOL プロシージャーが自動記憶域しか使用していないとし
ても、COBOL はすべてのプロシージャーで、静的記憶域制御ブロックを使用しま
す。そのため、マルチスレッド環境で ILE COBOL を使用する場合は、いつでも
THREAD(*SERIALIZE) を指定しなければなりません。

関連概念:

63 ページの『スレッド・セーフでない関数呼び出し』
時折、マルチスレッド・アプリケーションが、スレッド・セーフではない関数やシ
ステム・サービスへのアクセスを必要とすることがあります。それらの関数を呼び
出す、安全な代替方法がいくつかあります。

ILE RPG 言語でのスレッドの考慮事項

スレッド有効範囲静的ストレージを持つためのモジュールの作成、またはモジュ
ールへのアクセスをシリアル化することにより、マルチスレッド環境で安全に実行可
能な、Integrated Language Environment (ILE) RPG モジュールを作成することがで
きます。

モジュールを作成し、Control 指定に THREAD(*CONCURRENT) を指定することによ
って、すべての静的記憶域をスレッド有効範囲静的記憶域のデフォルトとするこ
とができます。

Control 指定に THREAD (*SERIALIZE) を指定することによって、モジュールへの
アクセスをシリアル化することができます。1 つのモジュールをシリアル化する
と、一度に 1 つのスレッドだけがそのモジュールで任意のプロシージャーを実行で
きます。例えば、プロシージャー P1 および P2 を持っているモジュールについて
考えてみましょう。1 つのスレッドがプロシージャー P1 を実行しているならば、
そのスレッドが P1 の実行を完了するまで、他のスレッドはプロシージャー P1 ま
たは P2 のいずれも実行できません。

モジュールがスレッド有効範囲静的記憶域を使用するか、またはモジュールをシリアル化したとしても、RPG プログラマーは、非スレッド有効範囲静的記憶域、インポートまたはエクスポートによって共用される記憶域、およびヒープ記憶域がスレッド・セーフな方法でアクセスされるようにしなければなりません。たとえ RPG プロシージャが自動記憶域しか使用していないとしても、RPG はすべてのプロシージャで、静的記憶域制御ブロックを使用します。そのため、マルチスレッド環境で ILE RPG を使用する場合は、いつでも THREAD(*CONCURRENT) または THREAD(*SERIALIZE) を指定しなければなりません。

OPM 言語でのスレッドの考慮事項

オリジナル・プログラム・モデル (OPM) プログラムは、スレッド・セーフではありません。マルチスレッド・アプリケーションが呼び出す前に、OPM プログラムを Integrated Language Environment (ILE) にマイグレーションし、スレッド・セーフにしておく必要があります。

ユーザー作成の Java メソッドから OPM プログラムを呼び出さないでください。マルチスレッド・アプリケーションから OPM プログラムを呼び出す必要がある場合は、OPM プログラムを実行する別のプロセスを開始してください。

関連概念:

2 ページの『スレッド・プログラムのモデル』

マルチスレッド・プログラムの作成には、いくつかのモデルがあります。

マルチスレッド・ジョブのデバッグとサービス

これらの概念と手法は、マルチスレッド・ジョブのデバッグとサービスに役立ちます。

このセクションで説明する概念は、すべてのプログラミング言語に当てはまります。それぞれの言語でそれらの概念がどのように実現されているかについては、Information Center にある各言語の『言語 (Language)』のトピックを参照してください。

関連概念:

66 ページの『一般的なマルチスレッド・プログラミング・エラー』

マルチスレッド・アプリケーションの作成時に頻繁に発生するプログラミング・エラーがいくつかあります。

スレッド関連データを報告するコマンド

ジョブのサービスのために使われるコマンドの多くは、マルチスレッド・プロセスをサポートするよう変更されていません。そのため、既存のコマンドは、サービス・ジョブ内の個々のスレッドに対してではなく、これまでと同じようにサービス・ジョブに対して実行されます。

ただし、以下のコマンドは、スレッド関連データを報告するために拡張されました。

ジョブのダンプ (DMPJOB) コマンド

ジョブのダンプ コマンドは、1 つのジョブ内のすべてのスレッドをダンプするようになりました。スレッド関連データは、コマンドの JOBTHD パ

ラメーターにより使用可能になります。次の例は、スレッド関連データが含まれるマルチスレッド・ジョブ・ダンプを取得する方法を示しています。

```
STRSRVJOB JOB(000000/USER/JOBNAME)
DMPJOB PGM(*NONE) JOBARA(*NONE) ADROBJ(*NO) JOBTHD(*THDSTK)
ENDSRVJOB
```

トレース開始 (STRTRC) コマンド

トレース開始 コマンドを使用して、マルチスレッド・ジョブ内のすべてのスレッドをトレースしたり、マルチスレッド・ジョブ内の具体的に最大 20 個のスレッドまでトレースすることができます。各トレース・レコードには、どのスレッドがレコードをログに記録したかを示すためのスレッド ID が付けられます。次の例は、マルチスレッド・ジョブのトレースを取得する方法を示しています。

```
STRTRC SSNID(MYSSNID) JOB((000000/USERNAME/JOBNAME (*ALL)))
... tracing the job
ENDTRC SSNID(MYSSNID) DTALIB(MYLIB) PRTRC(*YES)
```

次の例は、マルチスレッド・ジョブ内の指定されたスレッドのトレースを取得する方法を示しています。

```
STRTRC SSNID(MYSSNID) JOB((000000/USERNAME/JOBNAME (00000001 00000002 00000003)))
... tracing the job
ENDTRC SSNID(MYSSNID) DTALIB(MYLIB) PRTRC(*YES)
```

第 1 障害データ検知 (FFDC) 関数

FFDC は、プログラム診断依頼書 (APAR) に対して問題を報告するために、プログラム、サービス・プログラム、またはモジュールで使用できる関数です。FFDC は問題をログに記録し、症状ストリングを構築し、問題分析データを収集します。

マルチスレッド・プログラムで使用する場合には、FFDC は完全には機能しません。マルチスレッド・プログラムで呼び出すと、FFDC のサポートは部分的になります。以下のサポートが含まれます。

- データ項目情報の収集、およびこの情報の QPSRVDMP スプール・ファイルへの格納。
- 障害ポイント、症状ストリング、および検出/懷疑されたプログラム情報の QPSRVDMP スプール・ファイルへの格納。ジョブ・ログにもこの情報が含まれます。
- **ジョブのダンプ (DMPJOB)** コマンドの開始。

マルチスレッド・ジョブで提供されていない FFDC サポートには、オブジェクトのダンプ、問題項目の作成、および問題判別用のデータ収集が含まれます。

フライト・レコーダー

マルチスレッド・アプリケーションをデバッグするには、データをフライト・レコーダーに書き込むのが便利な方法です。フライト・レコーダーとは、アプリケーション内の問題を追跡できるようにトレース情報を書き込むためのファイル、出力バッファ、またはその他のオブジェクトを指します。

関数への入り口点と関数からの出口点は、フライト・レコーダーにトレースされる典型的な情報です。関数に渡されるパラメーター、制御フローの大きな変更、またエラー条件なども頻繁に記録されます。

Pthread ライブラリーは、アプリケーションが問題をトレースするための手段を提供しています。トレースを使用して、オプションのトレース・ポイントを切り取り、レコーダーのオン/オフを切り替え、アプリケーションを再コンパイルすることにより、すべてのトレース・コードを除去することができます。

さまざまなレベルのトレースを使用することができます。アプリケーションがトレース・レベルを認める場合、該当するトレース・レベルでトレース・ポイントのキューを出したり、トレース・レベルを管理したりするのはアプリケーションの責任です。Pthread ライブラリーは、そのための API、マクロ、およびトレース・レベル変数を用意しています。

Pthread トレースの場合、エラー・レベル・トレースには、エラー・レベル重大度のトレース・ポイントだけが表示されます。情報レベル・トレースでは、すべてのエラー・レベル・トレース・ポイントに加えて、情報トレース・ポイントが表示されます。冗長レベル・トレースでは、すべてのレベルのトレース・ポイントが表示されます。各トレース・ポイントには、スレッド ID、ミリ秒単位のタイム・スタンプ、およびトレース・データが自動的に含まれます。

トレースを使用可能にする CL コマンド、表示する CL コマンド、および処理する CL コマンドが、IBM i オペレーティング・システムの一部として組み込まれています。

トレース・ポイント用のトレース・バッファーは、ユーザー・スペース・オブジェクトとして QUSRSYS ライブラリーに作成されます。トレース・バッファーには QP0Zxxxxxx という名前が付けられています。ここで xxxxxx は、トレースを実行したジョブの 6 桁ジョブ番号を表します。

トレースに関連した API は次のとおりです。詳細については、UNIX 版 API の資料を参照してください。

- Qp0zUprintf - フォーマット済みのトレース・データを印刷する
- Qp0zDump - フォーマット済みの 16 進データをダンプする
- Qp0zDumpStack - スレッド呼び出しの呼び出しスタックをダンプする
- Qp0zDumpTargetStack - ターゲット・スレッドの呼び出しスタックをダンプする
- Qp0zLprintf - フォーマット済みのジョブ・ログ・メッセージを印刷する

トレースを操作するための CL コマンドは次のとおりです。

- **DMPUSRTRC** - 指定されたジョブのトレース内容をダンプする
- **CHGUSRTRC** - 指定されたジョブのトレース属性 (サイズ、折り返し、クリア) を変更する
- **DLTUSRTRC** - ジョブのトレースに関連付けられた持続トレース・オブジェクトを削除する

例: フライト・レコーダー出力例 (Pthread プログラム)

この例では、システム提供のフライト・レコーダーまたはトレース・インターフェースを使用する Pthread プログラムを示しています。

注: コード例を使用すると、86 ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

```
/*
Filename: ATEST23.QCSRC
Use CL command DMPUSRTRC to output the following tracing
information that this example traces.

This information is put into a file QTEMP/QAPOZDMP or to
standard output.

The trace records are indented and labeled based on thread id,
and millisecond timestamp of the time the tracepoint was cut.

The following trace output occurs when the optional parameter
'PTHREAD_TRACING' is NOT specified when calling this program.

If the optional parameter 'PTHREAD_TRACING' is specified, many
more tracepoints describing pthread library processing will occur.

Use the Pthread library tracepoints to debug incorrect calls to the
Pthreads library from your application.

Trace output -----
User Trace Dump for job 096932/MYLIB/PTHREADT. Size: 300K, Wrapped 0 times.

--- 11/06/1998 11:06:57 ---
00000000:133520 Create/start a thread
00000000:293104 Wait for the thread to complete, and release their resources
0000000E:294072 Thread Entered
0000000E:294272 DB51A4C80A:001CD0 L:0008 Global Data
0000000E:294416 DB51A4C80A:001CD0 00000000 00000002 *.....*
0000000E:294496 foo(), threadSpecific data=0 2
0000000E:294568 bar(), threadSpecific data=0 2
0000000E:294624 bar(): This is an error tracepoint
0000000E:294680 Stack Dump For Current Thread
0000000E:294736 Stack: This thread's stack at time of error in bar()
0000000E:333872 Stack: Library / Program Module Stmt Procedure
0000000E:367488 Stack: QSYS / QLESPI QLECRTTH 774 : LE_Create_Thread2_FP12crth_parm_t
0000000E:371704 Stack: QSYS / QPWPWTHR QPWPWTHR 1008 : pthread_create_part2
0000000E:371872 Stack: MYLIB / PTHREADD PTHREADD 19 : theThread_Fpv
0000000E:371944 Stack: MYLIB / PTHREADD PTHREADD 29 : foo_Fv
0000000E:372016 Stack: MYLIB / PTHREADD PTHREADD 46 : bar_Fv
0000000E:372104 Stack: QSYS / QPOZCPA QPOZUDBG 87 : Qp0zDumpStack
0000000E:379248 Stack: QSYS / QPOZSCPA QPOZSCPA 276 : Qp0zSUDumpStack
0000000E:379400 Stack: QSYS / QPOZSCPA QPOZSCPA 287 : Qp0zSUDumpTargetStack
0000000E:379440 Stack: Completed
0000000E:379560 foo(): This is an error tracepoint
0000000E:379656 dataDestructor: Free data
00000000:413816 Create/start a thread
00000000:414408 Wait for the thread to complete, and release their resources
0000000F:415672 Thread Entered
0000000F:415872 DB51A4C80A:001CD0 L:0008 Global Data
0000000F:416024 DB51A4C80A:001CD0 00000001 00000004 *.....*
0000000F:416104 foo(), threadSpecific data=1 4
0000000F:416176 bar(), threadSpecific data=1 4
0000000F:416232 bar(): This is an error tracepoint
0000000F:416288 Stack Dump For Current Thread
0000000F:416344 Stack: This thread's stack at time of error in bar()
0000000F:416552 Stack: Library / Program Module Stmt Procedure
0000000F:416696 Stack: QSYS / QLESPI QLECRTTH 774 : LE_Create_Thread2_FP12crth_parm_t
0000000F:416784 Stack: QSYS / QPWPWTHR QPWPWTHR 1008 : pthread_create_part2
0000000F:416872 Stack: MYLIB / PTHREADD PTHREADD 19 : theThread_Fpv
0000000F:416952 Stack: MYLIB / PTHREADD PTHREADD 29 : foo_Fv
0000000F:531432 Stack: MYLIB / PTHREADD PTHREADD 46 : bar_Fv
0000000F:531544 Stack: QSYS / QPOZCPA QPOZUDBG 87 : Qp0zDumpStack
0000000F:531632 Stack: QSYS / QPOZSCPA QPOZSCPA 276 : Qp0zSUDumpStack
0000000F:531704 Stack: QSYS / QPOZSCPA QPOZSCPA 287 : Qp0zSUDumpTargetStack
0000000F:531744 Stack: Completed
0000000F:531856 foo(): This is an error tracepoint
0000000F:531952 dataDestructor: Free data
00000000:532528 Main completed
*/
#define MULTI_THREADED
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <qp0ztrc.h>
#define checkResults(string, val) { \
    if (val) { \
        printf("Failed with %d at %s", val, string); \
        exit(1); \
    } \
}

typedef struct {
    int threadSpecific1;
    int threadSpecific2;
} threadSpecific_data_t;

#define NUMTHREADS 2
pthread_key_t threadSpecificKey;

void foo(void);
void bar(void);
```

```

void dataDestructor(void *);

void *theThread(void *parm) {
    int rc;
    threadSpecific_data_t *gData;
    PTHREAD_TRACE_NP({
        Qp0zUprintf("Thread Entered\n");
        Qp0zDump("Global Data", parm, sizeof(threadSpecific_data_t));
        PTHREAD_TRACE_INFO_NP);
    gData = (threadSpecific_data_t *)parm;
    rc = pthread_setspecific(threadSpecificKey, gData);
    checkResults("pthread_setspecific()\n", rc);
    foo();
    return NULL;
}

void foo() {
    threadSpecific_data_t *gData =
        (threadSpecific_data_t *)pthread_getspecific(threadSpecificKey);
    PTHREAD_TRACE_NP(Qp0zUprintf("foo(): threadSpecific data=%d %d\n",
        gData->threadSpecific1, gData->threadSpecific2),
        PTHREAD_TRACE_INFO_NP);
    bar();
    PTHREAD_TRACE_NP(Qp0zUprintf("foo(): This is an error tracepoint\n"),
        PTHREAD_TRACE_ERROR_NP);
}

void bar() {
    threadSpecific_data_t *gData =
        (threadSpecific_data_t *)pthread_getspecific(threadSpecificKey);
    PTHREAD_TRACE_NP(Qp0zUprintf("bar(): threadSpecific data=%d %d\n",
        gData->threadSpecific1, gData->threadSpecific2),
        PTHREAD_TRACE_INFO_NP);
    PTHREAD_TRACE_NP(Qp0zUprintf("bar(): This is an error tracepoint\n"),
        Qp0zDumpStack("This thread's stack at time of error in bar()"),
        PTHREAD_TRACE_ERROR_NP);
    return;
}

void dataDestructor(void *data) {
    PTHREAD_TRACE_NP(Qp0zUprintf("dataDestructor: Free data\n"),
        PTHREAD_TRACE_INFO_NP);
    pthread_setspecific(threadSpecificKey, NULL); free(data);
    /* If doing verbose tracing we will even write a message to the job log */
    PTHREAD_TRACE_NP(Qp0zLprintf("Free'd the thread specific data\n"),
        PTHREAD_TRACE_VERBOSE_NP);
}

/* Call this testcase with an optional parameter 'PTHREAD_TRACING' */
/* If the PTHREAD_TRACING parameter is specified, then the */
/* Pthread tracing environment variable will be set, and the */
/* pthread tracing will be re initialized from its previous value. */
/* NOTE: We set the trace level to informational, tracepoints cut */
/* using PTHREAD_TRACE_NP at a VERBOSE level will NOT show up*/
int main(int argc, char **argv) {
    pthread_t thread[NUMTHREADS];
    int rc=0;
    int i;
    threadSpecific_data_t *gData;
    char buffer[50];

    PTHREAD_TRACE_NP(Qp0zUprintf("Enter Testcase - %s\n", argv[0]),
        PTHREAD_TRACE_INFO_NP);
    if (argc == 2 && !strcmp("PTHREAD_TRACING", argv[1])) {
        /* Turn on internal pthread function tracing support */
        /* Or, use ADDENVVAR, CHGENVVAR CL commands to set this envvar*/
        sprintf(buffer, "QIBM_PTHREAD_TRACE_LEVEL=%d", PTHREAD_TRACE_INFO_NP);
        putenv(buffer);
        /* Refresh the Pthreads internal tracing with the environment */
        /* variables value. */
        pthread_trace_init_np();
    }
    else {
        /* Trace only our application, not the Pthread code */
        Qp0wTraceLevel = PTHREAD_TRACE_INFO_NP;
    }

    rc = pthread_key_create(&threadSpecificKey, dataDestructor);
    checkResults("pthread_key_create()\n", rc);

    for (i=0; i < NUMTHREADS; ++i) {
        /* Create per-thread threadSpecific data and pass it to the thread */
        gData = (threadSpecific_data_t *)malloc(sizeof(threadSpecific_data_t));
        gData->threadSpecific1 = i;
        gData->threadSpecific2 = (i+1)*2;
        rc = pthread_create( &thread[i], NULL, theThread, gData);
        checkResults("pthread create()\n", rc);
        PTHREAD_TRACE_NP(Qp0zUprintf("Wait for the thread to complete, "
            "and release their resources\n"),
            PTHREAD_TRACE_INFO_NP);
        rc = pthread_join(thread[i], NULL);
        checkResults("pthread_join()\n", rc);
    }

    pthread_key_delete(threadSpecificKey);
    PTHREAD_TRACE_NP(Qp0zUprintf("Main completed\n"),
        PTHREAD_TRACE_INFO_NP);
    return 0;
}

```

スレッド情報を表示するためのオプション

ジョブの表示 (DSPJOB)、ジョブの処理 (WRKJOB)、および活動ジョブの処理 (WRKACTJOB) コマンドを使用して、IBM i ジョブに関連したスレッドを表示または処理することができます。

それぞれのコマンドでは、ジョブ内でスレッドを表示または処理するためのオプションを選択します。「スレッドの処理」画面で、ジョブについて以下の情報を表示することができます。

- スレッドのリスト

この画面には、現在ジョブと関連付けられているすべてのスレッドが表示されます。リストの最初のスレッドは、プロセスの初期スレッドです。このリストは、ジョブのスレッド活動によって変化します。8桁の数字がスレッド ID です。この画面には他にも、スレッドの状況 (活動中または待機中)、CPU の合計使用量、補助記憶装置の合計入出力カウント、およびスレッドの実行優先順位などの情報が表示されます。

- スレッド呼び出しスタック・オプション

このオプションは、任意のスレッドの呼び出しスタックを表示します。状況によっては、呼び出しスタックが表示されないことがあります (スレッドが割り込み不能な命令を実行している場合)。そのような場合、スタック情報が利用可能でないことを示すメッセージが表示されます。

- スレッド相互排他 (mutex) オプション

このオプションを使用して、特定のスレッドと関連付けられているすべての mutex を表示することができます。その中には、保留中の mutex や、利用可能になるまでスレッドが待機している mutex も含まれます。指定されたスレッドに関連付けられた mutex がない場合、そのスレッドの mutex は表示されません。

- スレッド・ロック・オプション

このオプションを使用して、スレッドが保留しているスレッド有効範囲オブジェクト・ロックをすべて表示することができます。またこのオプションを使用して、利用可能になるまでスレッドが待機している、保留中のプロセス有効範囲ロックやスレッド有効範囲ロックもすべて表示できます。指定されたスレッドに関連付けられたオブジェクト・ロックがない場合、そのスレッドのロックは表示されません。

- スレッドの保留オプション

このオプションを使用して、特定スレッドの実行を一時停止できます。このオプションが効果的なのは、あるスレッドがループしている、あるいは他のシステム問題の原因になっている疑いがあるときです。スレッドの保留オプションは、スレッドの解放オプションと組み合わせて使用してください。**ジョブの保留 (HLDJOB)** とは異なり、「スレッドの保留」の要求は繰り返すと累積されます。保留中のスレッドの実行を再開するには、同じ回数だけ「スレッドの解放」要求を出さなければなりません。

- スレッドの解放オプション

このオプションを使用して、停止状態にあるスレッドの実行を再開することができます。

- スレッドの終了オプション

このオプションを使用して、特定のスレッドを終了することができます。予期せぬ結果が生じることがあるため、通常はこのオプションを使用しません。このオプションは、*SERVICE 特殊権限を必要としています。

ジョブの解放 (RLSJOB)、ジョブの保留 (HLDJOB)、ジョブの終了 (ENDJOB)、および異常ジョブの終了 (ENDJOBABN) コマンドは、1 つのマルチスレッド・ジョブ内のすべてのスレッドに影響します。同じようなスレッド・レベルのサポートを提供するコマンドの計画はありません。

マルチスレッド・ジョブのデバッグ

spawn() API によって提供されるメカニズムを使用して、デバッグ対象のマルチスレッド・プログラムを実際に呼び出す前にデバッグ・セッションを開始することができます。

QIBM_CHILD_JOB_SNDINQMSG 環境変数を 1 に設定すると、この機能を制御することができます。

SPAWN コマンド例は、IBM i オプション 7、IBM i 例題ツール・ライブラリー、QUSRTOOL の一部として提供されており、それを使用または修正することができます。QUSRTOOL ライブラリーのファイル QATTINFO にあるメンバー TPOZINFO には、SPAWN CL コマンドの作成方法が記載されています。

マルチスレッド・プログラムおよびデバッグ・セッションを実行するジョブの開始プロセスは、必要なステップを実行するコマンド (SPAWN コマンドなど) を作成することにより単純化することもできます。ステップは、以下の通りです。

1. ディスプレイ装置セッションにサインオンする
2. マルチスレッド・プログラムを実行するジョブを開始する
3. サービス・ジョブの開始 (STRSRVJOB) コマンドを使って、マルチスレッド・プログラムを実行しているジョブにサービスを提供する
4. デバッグの開始 (STRDBG) コマンドを呼び出し、デバッグするプログラムを追加し、ブレークポイントを設定する
5. スレッドがブレークポイントにヒットしたときにそのことをサービス・ジョブに通知し、ジョブがスレッドを停止するようにする
6. デバッガー・サポートによりすべてのスレッドを停止する
7. 表示されるデバッグ画面から有効なデバッグ・コマンドを発行する
8. ブレークポイントをヒットしたスレッド、その後他のすべてのスレッドを再開する
9. デバッグが完了するまで上のサイクルを繰り返す
10. デバッグの終了 (ENDDBG) コマンドを呼び出す

関連資料:

API

 ILE 概念 (PDF)

spawn() API

SPAWN CL コマンド、QUSRTOOL 例

 WebSphere Development Studio: ILE C/C++ Programmer's Guide PDF

マルチスレッド・アプリケーションのテスト分野

テストは、マルチスレッド・プログラムの正確さを検証するプロセスにおける大切なポイントです。

マルチスレッド・プログラムをテストするときは、次のような主要な概念について考慮してください。

- 複数インスタンス

マルチスレッド・プログラムをテストするには、プログラムの複数インスタンスを同時にアクティブにします。アプリケーションでスレッドの数が可変になっている場合には、プログラムの各インスタンスに、異なるスレッド数を設定してください。

- 変化するシステム作業負荷

マルチスレッド・プログラムをテストするには、実行するアプリケーションの組み合わせを変えながら、プログラムを繰り返し実行します。異なるアプリケーション間の対話により、タイミング問題や競争状態などの問題が明らかになるかもしれません。

- 作業負荷の大きい環境

作業負荷の大きい環境では、競合、タイミング、およびパフォーマンスの問題が明らかになるかもしれません。

- 異なるハードウェア・モデル

可能であれば、作業負荷や緊張レベルを変えながら、いくつかの異なるハードウェア・モデルでマルチスレッド・プログラムを実行してください。ハードウェア・モデルが異なると (特にマルチプロセッサ・システム)、さまざまな問題が明らかになるかもしれません。別のプラットフォームからアプリケーションを移植する場合は、アプリケーションの結果がどちらのプラットフォームでも同じであるかどうかを検査してください。

マルチスレッド・プログラムの正しさを妥当性検査する際、テストは考慮事項の 1 つにすぎません。コードの検査もとても重要です。それが問題判別の唯一の方法である場合も多くあります。マルチスレッド・プログラムのコードを検査する場合、「もしコードがこのポイントで中断されたらとすると、どのような問題が生じる可能性があるか」を常に考えてください。問題が発生するかもしれないソースを判別できると、問題をあらかじめ回避できるかもしれません。一般的な問題は次のとおりです。

- ハードウェア関連問題

通常は、1 つのハードウェア・モデルでシングルスレッド・プログラムを 1 つテストすれば十分です。他のハードウェア・モデルでも結果はまったく同じである

と推測することができます。しかし、カーネル・スレッドをサポートするハードウェア・プラットフォームで実行しているマルチスレッド・プログラムの場合、シングルスレッド・プログラムの場合と同じ結果を期待することはできません。これらのプラットフォームでは、各スレッドが、個別にディスパッチされたタスクで実行されます。プロセッサの速度、主メモリーのサイズ、記憶域の容量、および他のハードウェア特性によっては、異なるハードウェアでマルチスレッド・プログラムを呼び出すと、タイミング問題や競争状態などが発生することがあります。マルチプロセッサ・システムでは、潜在的な問題がさらに多く見つかるかもしれません。マルチプロセッサ・システムでは、2つの異なるスレッドが、同じコード順序を同時に実行する可能性があります。

- Java 仮想マシンの実装の問題

Java アプリケーションの開発者にとって問題となるのが、Java 仮想マシン (JVM) の実装です。いくつかのプラットフォームでは JVM はシングルスレッドですが、IBM i オペレーティング・システムでは、JVM はマルチスレッドだからです。ユーザー・スレッドをサポートしている他のプラットフォーム上のアプリケーションと同じように、Java アプリケーションでも同様の問題が生じることがあります。

- スレッド・モデルの問題

別のプラットフォームからアプリケーションを移植する場合は、相手のプラットフォームがどのスレッド・モデルをサポートしているかを把握している必要があります。他のプラットフォームがユーザー・スレッド・モデルをサポートしている場合には、IBM i 上のアプリケーションでは問題が生じることもあります。これは、IBM i がカーネル・スレッド・モデルをサポートしているからです。2つのモデルの大きな違いは、ユーザー・スレッド・モデルは連携スケジューリングを使用するのに対し、カーネル・スレッド・モデルはプリエンティブ・スケジューリングを使用する点です。ユーザー・スレッド・モデルでは、ある時点でアプリケーションの1つのスレッドしかアクティブになれません。カーネル・スレッド・モデルでは、どのスレッドを実行するのが適格かをマシンが判別します。IBM i 上のカーネル・スレッドでは、アプリケーションの開発者がユーザー・スレッドの使用時にこれら潜在的な問題について考慮しなかったために、競争状態、リソースの競合、およびその他の問題が生じることがあります。

マルチスレッド・アプリケーションにおけるパフォーマンスの考慮事項

IBM i オペレーティング・システム上のマルチスレッド・ジョブに対してパフォーマンスの考慮事項がいくつかあります。

ここで説明する概念は、すべてのプログラミング言語に関係しています。それぞれの言語でそれらの概念がどのように実現されているかについての詳細は、Information Center にある各言語の『言語 (Language)』のトピックを参照してください。

マルチスレッド・サーバーに関する推奨事項

スレッドの利点を活用する典型的なサーバー・プログラムを作成する場合、単一の listener スレッドにクライアント要求を待機させ、複数の独立したワーカー・スレッドにクライアントから要求された操作を実行させるという設計が一般的です。

スレッドの作成には、多くのリソースを使わないようにしてください。ただし、サーバーによってはクライアントへのより短い応答時間が求められるため、サーバー・アプリケーション・プログラムで実行を待機するワーカー・スレッドのプールを維持し、新規スレッドの作成を防ぎます。

通常、ワーカー・スレッドはいくつかの同期化プリミティブを使って、クライアントからの処理要求を待ちます。各クライアント要求を処理するたびに新しいスレッドを作成するのではなく、listener スレッドは、クライアント要求を待ち行列に入れて、待機中のワーカー・スレッドにシグナルを出します。シグナル・アクションに変数が使われることもあります。

普通、サーバー・アプリケーションは、クライアントのために処理するデータに関してまかされているものと見なされています。サーバーはマルチスレッド・アプリケーションを実行しているため、サーバーが実行するアクティビティーについていくつか考慮事項があります。

- マルチスレッド・サーバーからユーザー・アプリケーション・コードを呼び出すべきではありません。マルチスレッド・サーバーからユーザー・アプリケーション・コードを安全に実行するには、ユーザー・アプリケーション・コードが、元のマルチスレッド・サーバーが使用したのと同じ厳密な規則に従わなければなりません。この規則には、実行可能なアクションや、呼び出し可能なアプリケーション・プログラミング・インターフェース (API) などが関係しています。
- アプリケーションの他の部分と同じように、クライアント要求を安全に実行するのに必要な処理を評価する必要があります。
- クライアントに代わって処理をすると、サーバーにとって好ましくない影響を、サーバーのプロセス・レベルのリソースが受けるかもしれません。例えば、クライアントでのデータ表現に合わせるためにコード化文字セット ID (CCSID) を変更すると、ジョブ内の他のスレッドにも影響が出る恐れがあります。CCSID はジョブ・リソースの 1 つです。
- サーバーは、ワーカー・スレッドのセキュリティー情報 (ユーザー・プロファイルおよびグループ・プロファイル) を変更し、それをクライアントにすることができます。ただし、サーバーがこのように処理するときは、そのスレッドがどのリソースを共有しているかを考慮しなければなりません。ワーカー・スレッドは、すでに開かれているすべてのジョブ・レベル・リソースに対してアクセスできますが、その中には同じジョブで他の特権ユーザーが作成、または開いたリソースが含まれている可能性があります。

ジョブおよびスレッド優先順位

IBM i スレッドは、同じジョブ内の他のスレッドと競合するだけでなく、システム全体でもリソースのスケジューリングについて他のスレッドと競合します。

システムは、リソースの処理をスケジューリングするために、いくつかの遅延コスト曲線 (優先順位範囲) を基にした遅延コスト・スケジューラーを使用します。

IBM i では、優先順位の値が小さい方が、スケジューリングに関しては優先順位が高くなります。スレッド優先順位の調整値をジョブの優先順位に追加することにより、スレッドの優先順位を指定します。スレッドのデフォルト優先順位は、プロセス優先順位と同等か、スレッド優先順位の調整値 0 です。

異なるスレッド優先順位調整値をアプリケーションのスレッドに割り当てると、アプリケーションのパフォーマンスに直接影響があります。

スレッドの競合

あるスレッドが、別のスレッドがリソースの使用を終えるまで待機しなければならないときに競合が生じます。

競合問題が生じるのは、大量のリソースへのアクセスを保護するためにアプリケーションが使用する相互排他 (mutex) が少なすぎるときです。また、少量のリソースを大量のスレッドが共用するときも、アプリケーションのスレッド間で競合が生じます。

リソースに対するスレッド間の競合により、コンテキストのスイッチやページングが生じることがあります。アプリケーション内の競合を減らすには、できるだけ短い時間だけロックを保持し、1つのロックが2つの別個の (あるいは無関係の) 共用リソースのために使用されないようにします。

リソースを待つためにスレッドがポーリングやスピンを行うと、スケーリングが阻まれます。この種の競合は、アプリケーションのパフォーマンスに対して重大な影響を与えます。ポーリングやスピンは他のスレッドやジョブに対しても悪影響を及ぼし、結果としてシステム・パフォーマンスを悪化されることもあります。リソースが使用可能になるまで待機するときにスレッドがポーリングやスピンを使わなくてもよいように、条件変数、セマフォ、mutex、または他の同期化プリミティブを使用してください。

スレッド・アプリケーションに対する記憶域プール・サイズの影響

サブシステムのために指定される記憶域プール・サイズは、パフォーマンスや、作成可能なスレッド数に影響します。

スレッドの作成や処理が遅いか、一貫してメモリー不足エラーで失敗する場合は、同じ記憶域プールを使う他のジョブに加えて、すべてのアプリケーション・スレッドを実行するのに使用可能なリソースが記憶域プールで不足している可能性があります。記憶域プールのサイズを大きくすれば、これらの問題がなくなるかもしれません。

記憶域プールのサイズは、システム状況の処理 (WRKSYSSTS) コマンドを使って判別できます。アクティブ・スレッドが多すぎるか、スレッドがシステム・リソースを使いすぎているなら、アプリケーションが実行されている記憶域プールに多くのページ不在が見られるはずですが、記憶域プールのサイズを大きくすれば、ページ不在の数は減るかもしれません。

記憶域プールの活動レベル

記憶域プールの活動レベルとは、記憶域プール中の活動スレッドの数を指します。

500 スレッドを持った1つのジョブは、1つのスレッドを持った500個のジョブと同じ数の活動レベル・スロットを使います。活動しているスレッドおよびジョブの数に対して活動レベルが低すぎると、スレッドは主記憶域からページアウトされ、短時間ですが不適格とマークされます。これはアプリケーションのパフォーマンスに対して重大な影響を与えます。

パフォーマンスおよびスレッド・アプリケーション

ジョブ・レベルのパフォーマンス・カウンターは、1つのジョブのすべてのスレッドにより更新されます。

活動状態のスレッドが複数あると、一般的なシステム・カウンターと、パフォーマンス・モニター固有のトランザクション境界カウンターの両方の正確さに影響があります。これらのカウンター用の自動同期化がないと、データが損失される可能性もあります。

初期スレッド・パフォーマンス情報は、スレッドとジョブ範囲データの組み合わせです。すべてのスレッドのスレッド有効範囲データを合計するのではなく、スレッドとジョブ範囲データの両方を含んだ派生情報は無効です。

例: スレッド

この例は、マルチスレッド・アプリケーションのトピック・コレクション全体で使用されています。

プログラムの例として以下の情報を使用してください。

注: コード例を使用すると、86ページの『コードに関するライセンス情報および特記事項』の条件に同意したものとみなされます。

Pthread サンプル:

- 17 ページの『例: スレッドの属性を設定する (Pthread プログラム)』
- 19 ページの『例: スレッドを開始する (Pthread プログラム)』
- 22 ページの『例: スレッドを終了する (Pthread プログラム)』
- 24 ページの『例: スレッドを取り消す (Pthread プログラム)』
- 29 ページの『例: スレッドを待機する (Pthread プログラム)』
- 42 ページの『例: mutexes の使用 (Pthread プログラム)』
- 46 ページの『例: 共有データを保護するためのセマフォの使用 (Pthread プログラム)』
- 48 ページの『例: 条件変数の使用 (Pthread プログラム)』
- 53 ページの『例: スペース・ロケーションのロック (Pthread プログラム)』
- 56 ページの『例: 一回限りの初期化 (Pthread プログラム)』
- 60 ページの『例: スレッド固有データ (Pthread プログラム)』
- 76 ページの『例: フライト・レコーダー出力例 (Pthread プログラム)』
- 111 ページの『例: ローカル SQL データベースの処理 (マルチスレッド Pthread プログラム)』

Java サンプル:

- 18 ページの『例: スレッドの属性を設定する (Java プログラム)』
- 20 ページの『例: スレッドを開始する (Java プログラム)』
- 23 ページの『例: スレッドを終了する (Java プログラム)』
- 25 ページの『例: スレッドを取り消す (Java プログラム)』
- 27 ページの『例: Java プログラムを使用してスレッドを中断する』
- 31 ページの『例: スレッドを待機する (Java プログラム)』
- 43 ページの『例: mutexes の使用 (Java プログラム)』
- 50 ページの『例: 条件変数の使用 (Java プログラム)』
- 62 ページの『例: スレッド固有データ (Java プログラム)』

関連資料:

70 ページの『Java 言語でのスレッドの考慮事項』

Java スレッドは、`java.lang.Thread` クラスを使用して IBM i カーネル・スレッド・モデルの上で稼働します。各 Java スレッドは、プロセスで実行される多くのタスクの 1 つです。

マルチスレッド・アプリケーションの関連情報

製品マニュアル、Web サイト、および他の Information Center トピック・コレクションは、マルチスレッド・アプリケーション・トピック・コレクションに関連した情報を含みます。以下の PDF ファイルのいずれも表示または印刷できます。

マニュアル

- *WebSphere Development Studio: ILE C/C++ Programmer's Guide (SC09-2712)* PDF



- *WebSphere Development Studio: ILE C/C++ Language Reference, SC09-7852 PDF*



- *ILE 概念 (SD88-5033) PDF*



Web サイト

Sun 社の Java チュートリアル 

その他の情報

- API (APIs)
- 言語 (Language)

関連資料:

1 ページの『マルチスレッド・アプリケーションの PDF ファイル』
この情報の PDF ファイルを表示または印刷できます。

コードに関するライセンス情報および特記事項

IBM は、お客様に、すべてのプログラム・コードのサンプルを使用することができる非独占的な著作使用権を許諾します。お客様は、このサンプル・コードから、お客様独自の特別のニーズに合わせた類似のプログラムを作成することができます。

強行法規で除外を禁止されている場合を除き、IBM、そのプログラム開発者、および供給者は「プログラム」および「プログラム」に対する技術的サポートがある場合にはその技術的サポートについて、商品性の保証、特定目的適合性の保証および法律上の瑕疵担保責任を含むすべての明示もしくは黙示の保証責任を負わないものとしします。

いかなる場合においても、IBM および IBM のサプライヤーならびに IBM ビジネス・パートナーは、その予見の有無を問わず発生した以下のものについて賠償責任を負いません。

1. データの喪失、または損傷。
2. 直接損害、特別損害、付随的損害、間接損害、または経済上の結果的損害
3. 逸失した利益、ビジネス上の収益、あるいは節約すべかりし費用

国または地域によっては、法律の強行規定により、上記の責任の制限が適用されない場合があります。

特記事項

本書は米国 IBM が提供する製品およびサービスについて作成したものです。

本書に記載の製品、サービス、または機能が日本においては提供されていない場合があります。日本で利用可能な製品、サービス、および機能については、日本 IBM の営業担当員にお尋ねください。本書で IBM 製品、プログラム、またはサービスに言及していても、その IBM 製品、プログラム、またはサービスのみが使用可能であることを意味するものではありません。これらに代えて、IBM の知的所有権を侵害することのない、機能的に同等の製品、プログラム、またはサービスを使用することができます。ただし、IBM 以外の製品とプログラムの操作またはサービスの評価および検証は、お客様の責任で行っていただきます。

IBM は、本書に記載されている内容に関して特許権 (特許出願中のものを含む) を保有している場合があります。本書の提供は、お客様にこれらの特許権について実施権を許諾することを意味するものではありません。実施権についてのお問い合わせは、書面にて下記宛先にお送りください。

〒103-8510
東京都中央区日本橋箱崎町19番21号
日本アイ・ビー・エム株式会社
法務・知的財産
知的財産権ライセンス渉外

以下の保証は、国または地域の法律に沿わない場合は、適用されません。IBM およびその直接または間接の子会社は、本書を特定物として現存するままの状態を提供し、商品性の保証、特定目的適合性の保証および法律上の瑕疵担保責任を含むすべての明示もしくは黙示の保証責任を負わないものとします。国または地域によっては、法律の強行規定により、保証責任の制限が禁じられる場合、強行規定の制限を受けるものとします。

この情報には、技術的に不適切な記述や誤植を含む場合があります。本書は定期的に見直され、必要な変更は本書の次版に組み込まれます。IBM は予告なしに、随時、この文書に記載されている製品またはプログラムに対して、改良または変更を行うことがあります。

本書において IBM 以外の Web サイトに言及している場合がありますが、便宜のため記載しただけであり、決してそれらの Web サイトを推奨するものではありません。それらの Web サイトにある資料は、この IBM 製品の資料の一部ではありません。それらの Web サイトは、お客様の責任でご使用ください。

IBM は、お客様が提供するいかなる情報も、お客様に対してなんら義務も負うことのない、自ら適切と信ずる方法で、使用もしくは配布することができるものとします。

本プログラムのライセンス保持者で、(i) 独自に作成したプログラムとその他のプログラム (本プログラムを含む) との間での情報交換、および (ii) 交換された情報の相互利用を可能にすることを目的として、本プログラムに関する情報を必要とする方は、下記に連絡してください。

IBM Corporation
Software Interoperability Coordinator, Department YBWA
3605 Highway 52 N
Rochester, MN 55901
U.S.A.

本プログラムに関する上記の情報は、適切な使用条件の下で使用することができませんが、有償の場合もあります。

本書で説明されているライセンス・プログラムまたはその他のライセンス資料は、IBM 所定のプログラム契約の契約条項、IBM プログラムのご使用条件、またはそれと同等の条項に基づいて、IBM より提供されます。

この文書に含まれるいかなるパフォーマンス・データも、管理環境下で決定されたものです。そのため、他の操作環境で得られた結果は、異なる可能性があります。一部の測定が、開発レベルのシステムで行われた可能性があります。その測定値が、一般に利用可能なシステムのものと同じである保証はありません。さらに、一部の測定値が、推定値である可能性があります。実際の結果は、異なる可能性があります。お客様は、お客様の特定の環境に適したデータを確かめる必要があります。

IBM 以外の製品に関する情報は、その製品の供給者、出版物、もしくはその他の公に利用可能なソースから入手したものです。IBM は、それらの製品のテストは行っておりません。したがって、他社製品に関する実行性、互換性、またはその他の要求については確認できません。IBM 以外の製品の性能に関する質問は、それらの製品の供給者をお願いします。

IBM の将来の方向または意向に関する記述については、予告なしに変更または撤回される場合があります、単に目標を示しているものです。

著作権使用許諾:

本書には、様々なオペレーティング・プラットフォームでのプログラミング手法を例示するサンプル・アプリケーション・プログラムがソース言語で掲載されています。お客様は、サンプル・プログラムが書かれているオペレーティング・プラットフォームのアプリケーション・プログラミング・インターフェースに準拠したアプリケーション・プログラムの開発、使用、販売、配布を目的として、いかなる形式においても、IBM に対価を支払うことなくこれを複製し、改変し、配布することができます。このサンプル・プログラムは、あらゆる条件下における完全なテストを経ていません。従って IBM は、これらのサンプル・プログラムについて信頼性、利便性もしくは機能性があることをほのめかしたり、保証することはできません。これらのサンプル・プログラムは特定物として現存するままの状態を提供されるものであり、いかなる保証も提供されません。IBM は、お客様の当該サンプル・プログラムの使用から生ずるいかなる損害に対しても一切の責任を負いません。

それぞれの複製物、サンプル・プログラムのいかなる部分、またはすべての派生的創作物にも、次のように、著作権表示を入れていただく必要があります。

© (お客様の会社名) (西暦年). このコードの一部は、IBM Corp. のサンプル・プログラムから取られています。

この情報をソフトコピーでご覧になっている場合は、写真やカラーの図表は表示されない場合があります。

プログラミング・インターフェース情報

本書「プログラミング・マルチスレッド・アプリケーション」には、プログラムを作成するユーザーが IBM i のサービスを使用するためのプログラミング・インターフェースが記述されています。

商標

IBM、IBM ロゴおよび ibm.com は、世界の多くの国で登録された International Business Machines Corporation の商標です。他の製品名およびサービス名等は、それぞれ IBM または各社の商標である場合があります。現時点での IBM の商標リストについては、『www.ibm.com/legal/copytrade.shtml』をご覧ください。

Adobe、Adobe ロゴ、PostScript、PostScript ロゴは、Adobe Systems Incorporated の米国およびその他の国における登録商標または商標です。

UNIX は The Open Group の米国およびその他の国における登録商標です。

Java およびすべての Java 関連の商標およびロゴは Oracle やその関連会社の米国およびその他の国における商標または登録商標です。

他の製品名およびサービス名等は、それぞれ IBM または各社の商標である場合があります。

使用条件

これらの資料は、以下の条件に同意していただける場合に限りご使用いただけます。

個人使用: これらの資料は、すべての著作権表示その他の所有権表示をしていただくことを条件に、非商業的な個人による使用目的に限り複製することができます。ただし、IBM の明示的な承諾をえずに、これらの資料またはその一部について、二次的著作物を作成したり、配布 (頒布、送信を含む) または表示 (上映を含む) することはできません。

商業的使用: これらの資料は、すべての著作権表示その他の所有権表示をしていただくことを条件に、お客様の企業内に限り、複製、配布、および表示することができます。ただし、IBM の明示的な承諾をえずにこれらの資料の二次的著作物を作成したり、お客様の企業外で資料またはその一部を複製、配布、または表示することはできません。

ここで明示的に許可されているもの以外に、資料や資料内に含まれる情報、データ、ソフトウェア、またはその他の知的所有権に対するいかなる許可、ライセンス、または権利を明示的にも黙示的にも付与するものではありません。

資料の使用が IBM の利益を損なうと判断された場合や、上記の条件が適切に守られていないと判断された場合、IBM はいつでも自らの判断により、ここで与えた許可を撤回できるものとさせていただきます。

お客様がこの情報をダウンロード、輸出、または再輸出する際には、米国のすべての輸出入関連法規を含む、すべての関連法規を遵守するものとします。

IBM は、これらの資料の内容についていかなる保証もしません。これらの資料は、特定物として現存するままの状態を提供され、商品性の保証、特定目的適合性の保証および法律上の瑕疵担保責任を含むすべての明示もしくは黙示の保証責任なしで提供されます。



プログラム番号: 5770-SS1

Printed in Japan