ツールキット ver1.0について

先進的計算基盤システムシンポジウム
SACSIS2008併設企画
マルチコアプログラミングコンテスト
「Cellスピードチャレンジ2008」

この資料について

- ツールキットver1.0の解説です
  - ver0.1の資料を基本に作られています
  - SPEを複数使って，連立1次方程式の解を求めます
  - コンテスト参加の際に，実装の一例として参考にしてください
- 連立1次方程式の求解アルゴリズムの概要を説明します

規定課題の概要

- Cellスピードチャレンジ2008 の規定課題は
  「連立一次方程式の求解」です
  (概要はWebページの「規定課題詳細」を参照)
- 係数行列A, 右辺ベクトルbが与えられたときに，
  解ベクトルxを求めるプログラムの性能を競います．

$$Ax = b$$

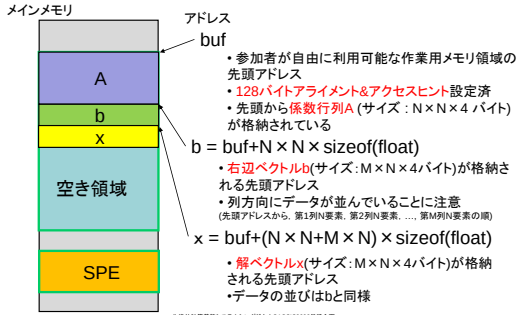
- AはN×N行列(各要素はfloat型:4バイト)
- x, bはM×N行列
- 課題に関する問い合わせ：cell2008info@matlab.nitech.ac.jp

ツールキットver1.0でやっていること

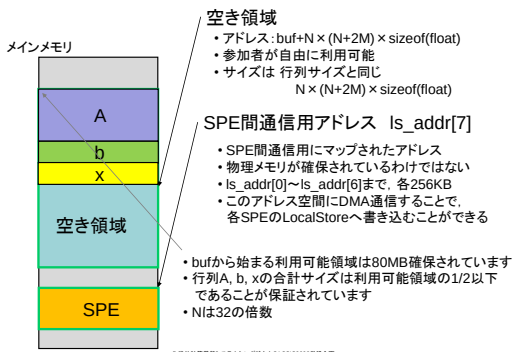
- SPE複数で連立1次方程式を解く
  - SPEの数は変えられますが，デフォルトで7個(最大)使う
- 問題の制約
  - 行列サイズNは32の倍数
  - それ以外の制約は次のスライドで説明
- main_spe.cの関数spe_soleqs()内のコードを書き換えて実装する
  - 関数spe_soleqs()以外の記述の変更は認められません．
  - コンテスト参加時はツールキットの内容を保持する必要はありません．
    自由にコードを記述してください

データの初期配置 1/2

- 行列A,b,xは以下のように配置される



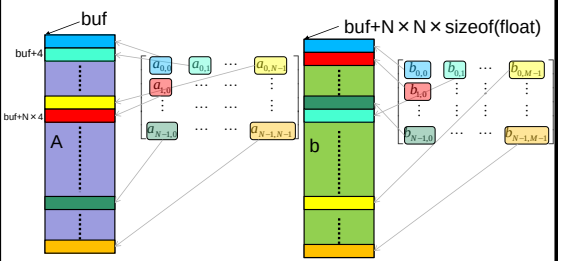
データの初期配置 2/2



New

行列データの並び方

• 行列Aと，行列b, xでは，メモリ上の要素の配置が異なることに注意！



ツールキットで採用したアルゴリズム

- 基本はver0.1と同様
- LU分解，前進代入，後退代入を順番に計算(オーバラップ無し)
- pivot選択は行列の形状，サイズに無関係に必ず行う

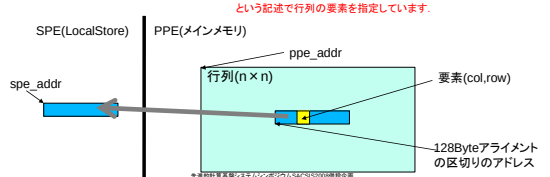
Update

DMA転送用サブルーチン 1/2

- 転送用の命令の準備
  - dmaget, dmaput : 資料等で使用されるDMA読み書き関数
  - void dmaget_burst(unsigned int ppe_addr, unsigned int spe_addr, unsigned int row, unsigned int col, unsigned int n)

メインメモリのアドレスppe_addrから始まる行列(各要素はfloat型)の，(col, row)の要素を含む128Byteを読み出し，LocalStoreのアドレスspe_addrから始まる要素に格納する．
(目的の要素は，*(float*)(spe_addr+row%32*sizeof(float))で取り出せる)

ツールキットのコードでは，行方向にrow番目，列方向にcol番目，という記述で行列の要素を指定しています．



Update

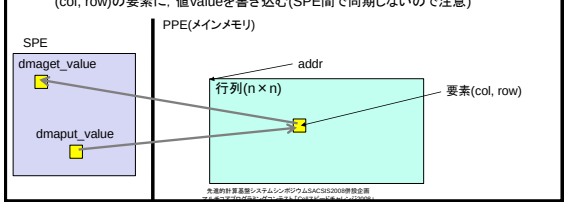
DMA転送用サブルーチン 2/2

- float dmaget_value(unsigned int addr, unsigned int row, unsigned int col, unsigned int n)

メインメモリのアドレスaddrから開始される行列(要素はfloat型，サイズはn×n)の，(col, row)の要素を読み出して返す

- void dmaput_value(unsigned int addr, unsigned int row, unsigned int col, unsigned int n, float value)

メインメモリのアドレスaddrから開始される行列(要素はfloat型，サイズはn×n)の，(col, row)の要素に，値valueを書き込む(SPE間で同期しないので注意)



同期の方法

- 2種類の同期用サブルーチン
- SPE0を司令塔にして，SPE間DMA転送で同期を取る
- void sync_dist(unsigned int id, // SPEのID
  unsigned int* ppe_ls, // 各SPEのLocalStoreがマップされたアドレス配列
  volatile struct spe_sync* sd, // 同期用の構造体の配列
  unsigned int key) // 同期用キー

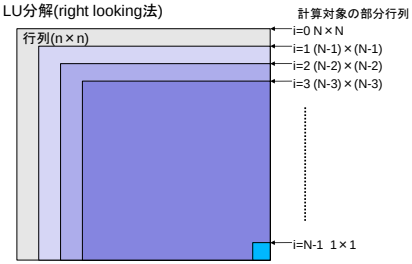
SPE0から他のSPEのsdで指定された領域(変数start_flag)へ，特定の値keyを書き込む．他のSPEは，start_flagの値がkeyになるまで待つ(SPE0がそれ以外へ計算の開始を指示する)

- void sync_collect(unsigned int id,
  unsigned int* ppe_ls,
  volatile struct spe_sync* sd,
  unsigned int key)

SPE1～6は，SPE0の自分のフラグ(変数sd[id].end_flag)へ値keyを書き込む．SPE0はその他のSPEに関するend_flagの値がkeyになるまで待つ(各SPEがSPE0へ計算の終了を指示する)

LU分解(LU decomposition)

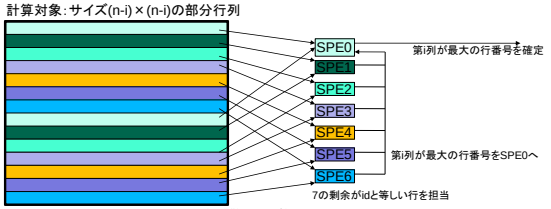
- 3つの部分をN回繰り返す(i=0～N-1)
  1. pivot 選択(最大の要素を持つ行の探索)
  2. 行の交換
  3. LU分解(right looking法)



1. 部分pivot選択

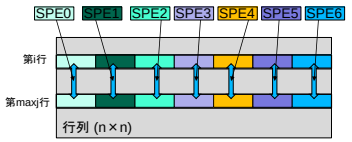
- pivot選択(pivoting関数)：第i列が最大値を持つ行を探索する
  - 各SPEは，(N-i)だけある行を7分割し，担当の行から，それぞれ第i列が最大値を持つ行を探索する
    - SPEは各行の第i列の値を読み出す(dmaget_valueを使う)
    - 最大値を持つ行番号maxjをSPE0に通知(sync_collectを使う)
  - SPE0が計算結果をとりまとめ，第i列の最大値を持つ行を選択する

計算対象：サイズ(n-i)×(n-i)の部分行列



2. 行(列)の交換

- 行の交換(swap_row関数)
  - 行列Aの第i行と第maxj行を交換する
  - 各SPEで32要素ずつ交換する(dmaget, dmaput関数)

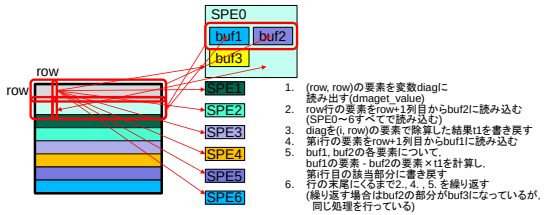


- 列の交換(swap_col関数)
  - 行列bの第i列と第maxj列を交換する
  - 各SPEでMだけある列を分割して担当する

Update

3. Right Looking法によるLU分解

- spe_lu_decomposition関数
  - 部分行列を行単位でSPEに処理を分割(部分pivot選択と同様の分割)
  - 各行の計算は以下の図の通り(簡易なアニメーション付き)



- ここまでの1, 2, 3の処理をN回繰り返すことで，行列Aがが LU分解される

前進代入＆後退代入

- forward_substitution&backward_substitution関数
- 動作はソースコード参照
  - ver0.1とほぼ同じ簡易なアルゴリズム

- 解ベクトルごとにSPEを割り当てる
  - 解ベクトルの数が小さいと，何もしないSPEが出てくる場合がある
- 32要素ごとにまとめてDMA転送する

- 前進代入時の中間データ保存用に，メインメモリの「空き領域」を使用(N×M×sizeof(float)Byte)
- 後退代入後の結果をx (解ベクトル格納領域)へ書き込む

参考資料

- 奥村晴彦著「C言語による最新アルゴリズム辞典」技術評論社
- 小国力編著「行列計算ソフトウエアーWS、スーパーコン、並列計算機」丸善株式会
- 斉藤 宏樹，廣安 知之，三木 光範「 LU分解の並列化について」 http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/report/2002/0612/018/report20020612018.html