

2P-5

# 仮想計算機システムにおける メモリ管理方式についての一考察

加藤 保夫

加藤 晴茂

N T T ソ フ ト ウ ェ ア 研 究 所

### 1. まえがき

NTTでは大型オンラインシステムのデバッグへの適用をねらいとした仮想計算機システムの開発を進めてきた。(・1)・(・2) 大型オンラインシステムを仮想計算機システム上で走行させるには、立ち上げ時の短時間に大量の実メモリが必要となるため、仮想計算機モニタに対してメモリ過負荷状態が発生する。

一般のOSにおける実メモリ管理では過負荷状態が発生した時にジョブを一時停止させうえて、ジョブ単位でメモリを取り上げることも可能であるが、仮想計算機システムでは(実計算機の動作を疑似するために)各仮想計算機が常に走行しているように見せる必要があるため、仮想計算機を停止させてその仮想計算機に割り付けられているメモリを取り上げることはできない。

従来までの仮想計算機システムの実メモリ管理では、実メモリ全体での利用効率の向上を考慮してワーキングセット法(WS法)を採用している。この方式では急激で多量の実メモリ要求が発生するような場合、メモリの2次記憶装置への掃き出し(ページアウト)を行なった後でなければ実メモリを割り付けられないため、立ち上げ処理の遅延等を招く原因となる。

本論文では、実メモリの残量に敷居値を設けてページアウトの量と契機を動的に制御することにより、急激で多量なメモリ要求に対する割付能力を向上させるための方式について一案(以後、LWSize法と呼ぶ)を紹介するとともに、本方式の評価結果を示す。

### 2. 従来のWS法による実メモリ管理方式

従来の方式でのページフレームの状態遷移を図1に示す。ページアウトは実メモリの要求量に対し、フリーリストで管理されているページ数が不足した場合に発生する。メモリの利用効率を上げることをねらいとしてメモリ要求発生時に要求されたメモリ量を確保するため、FLリストにメモリが蓄積されることになる。

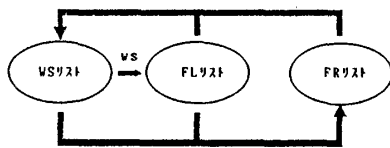


図1 WS法によるページフレームの状態遷移

### 3. LWSize法による実メモリ管理方式

本方式の特徴を以下に示す。

#### (1) ページアウト契機の制御

実メモリの使用可能量が十分に存在する場合には不要なページアウトを抑止する一方、使用可能量が不足してきた場合にもスラッシングを起こすことなく、急激な実メモリ要求に対応するための使用可能量を確保するよう

にページアウト契機を必要に応じて変化させる。

#### (2) ページアウト量の制御

急激な実メモリ要求に対応できるだけの使用可能量となるべく少ないページアウト回数で常に確保されるように、ページアウトの契機で必要な量だけをまとめてページアウトするとともに、予めページアウトした領域へのアクセスを可能とする。

#### 3. 1 ページフレームの利用状態の遷移

LWSize法による実メモリ管理でのページフレームの状態遷移を図2に示す。

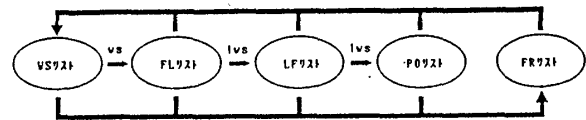


図2 LWSize法によるページフレームの状態遷移

実メモリの任意のページフレームはワーキングセットリスト(WSリスト) フラッシュリスト(FLリスト) ロングフラッシュリスト(LFリスト) ページアウトリスト(POリスト) フリーリスト(FRリスト)

と呼ばれる、利用状態を管理する5つのリストのうちのいずれかひとつのリストに属する。(説明のため、各リストが管理しているページフレーム数を $\Theta_{WS}$ 、 $\Theta_{FL}$ 、 $\Theta_{LF}$ 、 $\Theta_{PO}$ 、 $\Theta_{FR}$ で表わすこととする。)

#### 3. 2 ページフレームの各状態間の移行契機

リスト間のページフレーム移行契機としてウィンドウサイズ(WSsize)契機、ロングウィンドウサイズ(LWSize)契機、FLリスト/LFリスト/POリスト/FRリスト/2次記憶の内のページへのアクセス時に発生する。

WSsize契機は一定時間間隔毎に発生し、LWSize契機はk回後のWSsize契機に発生する。ここでkは整数であり、実メモリの使用可能量( $\Theta_{PO} + \Theta_{FR}$ )により変化する。

#### 3. 3 実メモリの使用可能量に対する敷居値

実メモリの使用可能量( $\Theta_X = \Theta_{PO} + \Theta_{FR}$ )の大きさに対する敷居値を3種類( $\Theta_1 \leq \Theta_2 \leq \Theta_3$ )設け、つぎに挙げる(1)から(3)の制御を行なう。 $\Theta_1$ はWSsizeの間に仮想計算機モニタが正常に動作する上で必要となるメモリ量を保証するための敷居値である。 $\Theta_2$ はページフレーム間の状態遷移契機(ページアウトの契機も含む)の頻度を実メモリの使用可能量に応じて調整するための敷居値である。 $\Theta_3$ はLWSize間で要求されるメモリを使用可能量として確保するための敷居値である。

#### (1) LWSize契機の制御

敷居値 $\Theta_1, \Theta_2$ を用いて、つぎのLWSize契機をあたえる整数 $k$ を決定する。

- ①  $\Theta_2 \leq \Theta_x$ ならば、 $k = N$ にする。
- ②  $\Theta_1 \leq \Theta_x < \Theta_2$ ならば、 $k = M$ にする。
- ③  $\Theta_x < \Theta_1$ ならば、 $k = 1$ にする。

ただし、 $M, N$ はともに整数であり、 $1 \leq N \leq M$ である。

(2) 実メモリ要求マクロの受付の判断

敷居値  $\Theta_1$  は使用可能量  $\Theta_x$  が少なくなった場合、W Size間での仮想計算機モニタにとって不可欠なメモリ要求量を確保するための制御を行なうのである。

(3) ページアウトする量の制御

- ①  $\Theta_x \leq \Theta_3$ ならば、ページアウトを行なわない。
  - ②  $(\Theta_3 - \Theta_{LF}) < \Theta_x \leq \Theta_3$ ならば、 $(\Theta_3 - \Theta_{LF})$ をページアウトする。
  - ③  $\Theta_x \leq (\Theta_3 - \Theta_{LF})$ ならば、 $\Theta_{LF}$ をページアウトする。
- ただし、 $M, N$ はともに整数であり、 $N > M$ である。

4. 評価方法と計算結果

WS法とLWSize法に対し実メモリの使用可能量の確保能力、ページアウトの量、LWSize契機について評価した。

(1) 評価方法

各ページフレーム状態および二次記憶媒体に対して、ワーキングセットの間での、アクセスの割合を表1に示す値で発生すると想定し、各ページフレーム状態の時間変化を算出することにより、実メモリの使用可能量を算出した。

計算に当たって、各ウィンドウサイズでアクセスさせるページ数は常に一定(600ページ)であると仮定した。

表1と表2に、実メモリの使用可能量の計算に用いた条件を示す。

(1) 計算結果

図3に、WS法での実メモリの各ページフレーム状態の割合を示す。

表3に、定常状態でのWS法におけるページアウト間隔とページアウト量に対する計算結果を示す。

表1 LWSize法によるメモリ管理方式の計算に使用した各ページフレームとアクセスの対象に関する初期設定条件 ( $\Theta_{PK}$ は二次記憶媒体上の使用ページ数)

ページフレームの初期設定値 (ページ数)	$\Theta_{WS}$	$\Theta_{FL}$	$\Theta_{LF}$	$\Theta_{PO}$	$\Theta_{PK}$	$\Theta_{FR}$
WS法での7つの対象(M)	600	400	400	400	10000	200
メモリ要求:少	72	26		1		1
メモリ要求:多	63	23		1		13

表2 LWSize法の計算に使用したパラメータセット

	$\Theta_1$	$\Theta_2$	$\Theta_3$	M	N
メモリ要求の少ないVM	10	200	250	1	3
メモリ要求の多いVM	100	200	300	1	2

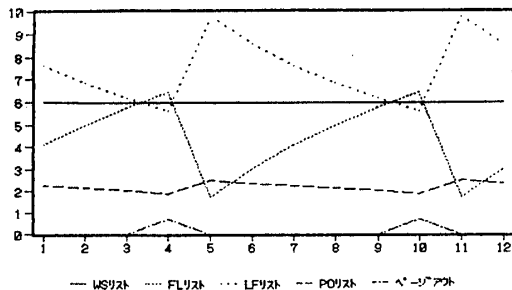


図3 LWSize法における実メモリの各ページフレーム状態の割合

表3 定常状態でのLWSize法におけるページアウト間隔とページアウト量

パラメータセット	A	B	C	D
ページアウト間隔 (WSize回数)	3	14	2	1
一回のページアウト量 (ページ)	36	167	103	73

5. 考察

(1) 使用可能量の確保

WS法ではFRリストで管理されているページ数は定常状態で零になり、新たなメモリ要求に対してはそのたびにページアウトを行なうことになる。

一方、LWSize法では実メモリの割り付け要求によりFRリストが使いきられた後でも、ページアウトを行なわずに割り付けられる実メモリを、P Oリストとして確保していることが確かめられた(図3参照)。またこの結果から、FRリストが使い切られている状態でI P Lが発生した場合、LWSize法ではページアウトに要する時間だけWS法よりもI P L時間が減少することになる。

(2) 運転の柔軟性の向上(表3参照)

LWSize法のもつ最も顕著な特徴はパラメータ( $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, M, N$ )を変化させることによって、仮想計算機上で走行するジョブの(メモリ要求量に対する)特性に応じたメモリ管理を柔軟に行なうことができる点にある。

以下に、①メモリ要求量の多いジョブ、②メモリ要求量の少ないジョブに適したパラメータの設定のモデルを示す。ただし、これらのパラメータは固定する必要はなく、走行しているジョブの特性に応じて動的にパラメータを変更することが可能であり、仮想計算機システムの運転の柔軟性を向上することができる。

① メモリ要求量の多いジョブに対する設定

メモリ要求量に対応して $\Theta_1$ と $\Theta_3$ を大きくする必要がある。このとき $\Theta_3 - \Theta_2$ が大きくなるとページアウト回数が減少し、オーバヘッドの減少が図れる。ただし、一度のページアウト時間は仮想計算機の利用者に迷惑を与えない程度に抑える必要があるため、I/O性能に応じてNの値を小さくし、ページアウト契機の反応時間を短くする必要がある。

② メモリ要求量の少ないジョブに対する設定

WS法間でのメモリ要求量が小さいので、 $\Theta_3$ を大きくする必要はない。そこで、Mを大きく設定し、 $\Theta_3 - \Theta_2$ を(仮想計算機の停止が利用者に迷惑を与えない時間とI/O性能で決まる)一度にページアウトできる量と等しくなる程度に設定することによってページアウト回数の抑制と適度なページアウト量の制御を実現することができる。

6. おわりに

実メモリの管理方式には従来から様々な方式が考案されているが、本論文で紹介したLWSize法は従来のWS法と比較して、仮想計算機上での急激で大量な実メモリの要求に対する割り付け能力の向上と仮想計算機システム運転の柔軟性を増すことが期待できる。今後は利用者特性に応じたパラメータのチューニング方法について整理する予定である。

参考文献

- [1] 加藤、川崎: 仮想計算機システムにおける優先制御方式について、情報第39回全国大会, 7D-2, 1988
- [2] 山本他: D I P S 仮想計算機システムの設計, 通研実報, 30, No. 5, p. 1269, 1981