

タイルドディスプレイシステム用 画面転送の高効率並列化技術

Efficient Parallelization Technology for Screen Transfers in Tiled Display Systems

峰松 美佳 後藤 真孝 松澤 茂雄
 ■ MINEMATSU Mika ■ GOTO Masataka ■ MATSUZAWA Shigeo

近年、新しい大画面ディスプレイシステムとして、複数台のモニタをタイル状に配置し、一つの大きなディスプレイとして扱うタイルドディスプレイシステムが注目を集めている。

東芝は、タイルドディスプレイシステムのレンダリングサーバに搭載する、画面転送の高効率並列化技術を開発した。この技術によりマルチコアCPUの処理能力を生かした構成とすることで、1台のレンダリングサーバでより大きなディスプレイサイズの処理が可能になり、ディスプレイの大型化に柔軟に対応できる。

With the increasing size of displays to distribute information more efficiently and accurately in recent years, the tiled display system consisting of multiple monitors has been attracting considerable attention as a novel approach to the realization of large display systems.

Toshiba has developed an efficient parallelization technology for screen transfers performed by the rendering servers of tiled display systems. A rendering server incorporating this technology can flexibly adapt to a larger display size by making use of the processing power of a multicore central processing unit (CPU).

1 まえがき

近年、大型のディスプレイを用いた情報共有システムが増えてきている。大型のディスプレイは、複数人で情報を閲覧する際に、離れた場所からでも視認性が高く、正確に画面内容を把握可能であるという利点がある。例えば、デジタルサイネージでは、一辺が数mに及ぶようなディスプレイを用いる場合もある。

しかし、大型のモニタは高価なため、複数台の安価なモニタをタイル状に配置し一つの大きなディスプレイとして扱う、タイルドディスプレイシステムが注目を集めている。

東芝は、大型ディスプレイへの用途を目的に、X Window System^(注1)をベースとした、画面転送方式によるタイルドディスプレイシステムを開発した⁽¹⁾ (図1)。このタイルドディスプレイシステムは、アプリケーションからの描画命令に従い画面情報を生成するレンダリングサーバと、画面情報をモニタに表示する表示制御装置(以下、表示ノードと呼ぶ)から構成され、画面情報はネットワークを介してレンダリングサーバから表示ノードへ転送される。

ここでは、レンダリングサーバに搭載する画面転送の高効率並列化技術の特徴と、その効果について述べる。

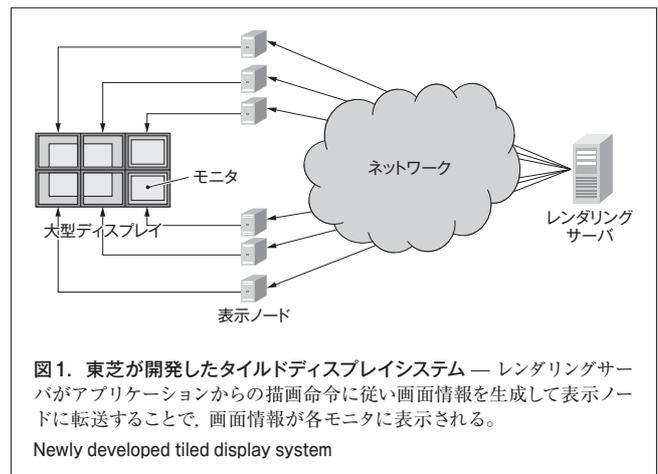


図1. 東芝が開発したタイルドディスプレイシステム — レンダリングサーバがアプリケーションからの描画命令に従い画面情報を生成して表示ノードに転送することで、画面情報が各モニタに表示される。
 Newly developed tiled display system

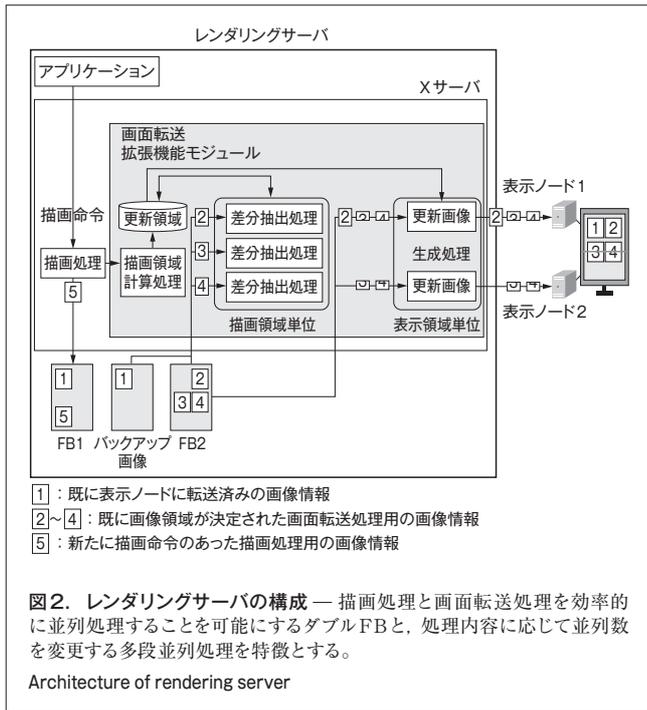
2 画面転送の高効率並列化技術

レンダリングサーバの構成を図2に示す。

レンダリングサーバは、タイルドディスプレイに表示する画面情報を描画する処理、及び更新画像を生成して表示ノードに転送する処理を担う。レンダリングサーバのおおまかな処理の流れを以下に示す。ここで述べる領域は全て長方形として扱う。

- (1) アプリケーションからの描画命令をトリガとして、描画処理を開始
 - (a) 描画命令に従い、画像情報を大型ディスプレイの領域に対応するフレームバッファ1 (FB1) に描画
 - (b) 描画した領域を、更新領域として記録
- (2) 30 ms ごとのタイマをトリガとして、画面転送処理を開始

(注1) UNIX系オペレーティングシステム(OS)で利用されるグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)環境で、ウィンドウを画面上に描画したり、マウスやキーボードを使って操作したりするために利用される。UNIXは、The Open Groupの米国及びその他の国における商標。



- (a) FB2の画像情報と、表示ノードに転送済みの画像情報を保持しているバックアップ画像とを比較して、更新領域のうち実際に画面変化があった差分領域を抽出
- (b) 差分領域に対応するFB2の画像情報に、画素フォーマットの変換処理及び圧縮処理を実施し、更新画像を生成
- (c) 更新画像を表示ノードへ転送

レンダリングサーバにおける並列化手法には、描画処理と画面転送処理を効率的に並列処理することを可能にする背景補正ダブルFBと、処理内容ごとに並列数を変更する多段並列処理手法とが挙げられる。それぞれの特徴について、以下に述べる。

2.1 背景補正ダブルFB

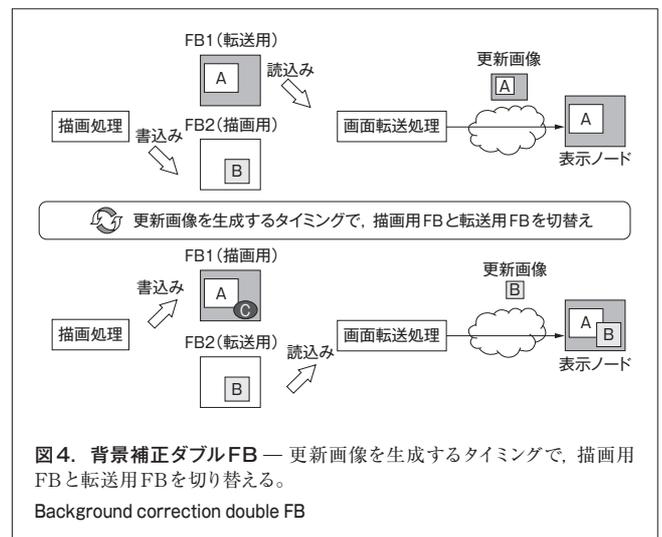
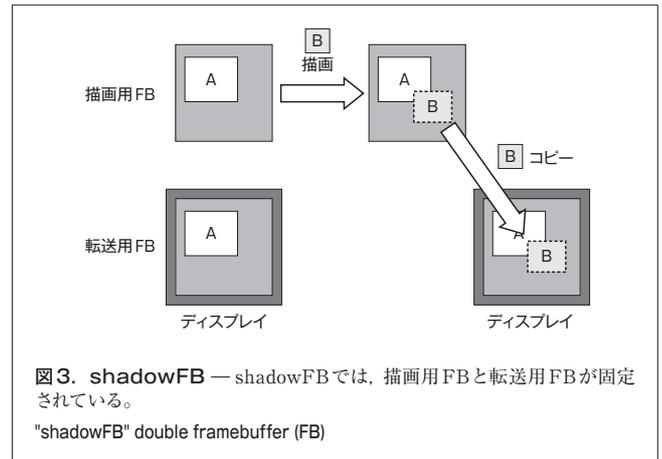
2.1.1 ダブルFBの処理

Xサーバ^(注2)では、shadowFBというダブルFBを採用している。shadowFBでは、図3に示すように、描画用FBと転送用FBが固定的に設けられており、描画用FBへの描画が完了してから、描画部分を転送用FBにコピーする。

そのため、shadowFBを画面転送システムに応用する場合、更新画像を生成するタイミングで、描画用FBから転送用FBに描画部分をコピーしてから、転送用FBから描画部分の更新画像を転送することとなる。また、コピーが完了するまでは、描画処理及び画面転送処理をブロック（停止）する必要がある。

そこで、更新画像を生成するタイミングで、両FBを描画用と転送用に交互に切り替えることにより、描画したFBから更

(注2) X Window Systemで描画処理を担う。

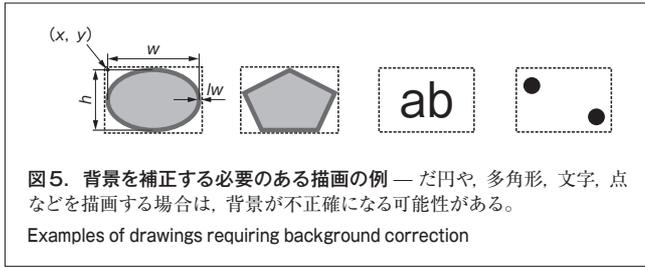


新画像を転送することを可能にする、背景補正ダブルFBを開発した(図4)。これにより、FB間のメモリコピー処理負荷を軽減できる。また、描画処理及び画面転送処理のブロック期間を短縮できる。

図4の例の場合は、描画用FBであるFB2に長方形Bを描画し、更新画像を生成するタイミングでFB2を転送用に切り替えて、転送用FBとなったFB2から長方形Bの画像情報を転送する。

2.1.2 背景補正の必要性

一般に、描画領域は長方形領域として扱われるため、図5に示すように、長方形内に描画が発生しない白い部分が残る場合がある。例えば、点の描画命令では、複数の点の座標情報が配列で指定され、指定された複数の点を含む最小の長方形が描画領域として扱われる。図5に示す二つの点を描画する場合、点線で示した描画領域内では、二つの点以外の領域では描画が発生しない。この白い部分の背景が不正確になる可能性があるため、だ円や、多角形、文字、点などを描く場合は、描画の前に、正しい背景をコピーする必要がある。



2.1.3 背景補正ダブルFBの処理 正しい背景をコピーする背景補正処理のおおまかな流れを以下に示す(図6)。

- (1) 背景を補正する必要がある描画命令を検知
- (2) 背景が最新でない場合、最新の背景をコピー
- (3) 描画
- (4) 最新のFBを示す情報を更新

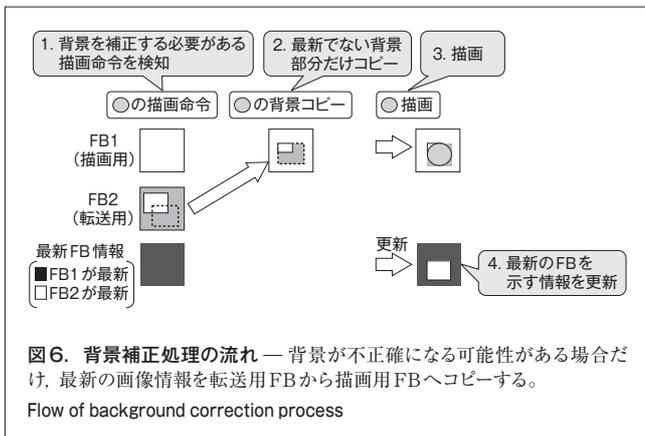
背景を補正する処理の詳細について、以下に述べる。

まず、背景を補正する必要がある描画命令を検知すると、描画領域を計算する。例えば、だ円の描画命令では、長方形の座標及び大きさが指定され、その長方形に内接するだ円が描画される。そこで、指定された長方形が座標 (x, y) から幅 w 、高さ h 、だ円の線の幅が lw とすると、描画領域は、座標 $(x-lw/2, y-lw/2)$ から幅 $w+lw$ 、高さ $h+lw$ となる。

ここで、最新の背景をコピーする必要がある、背景補正領域を計算する。最新FB情報は、画素ごとに、二つのFBのうちどちらが最新かを記録している。そのため、描画領域と、最新FB情報から計算した転送用FBの最新な領域とが交わる領域が、背景補正領域となる。例えば、FB1に描画中で、描画領域が $(100, 200)$ から幅300、高さ200で、FB2の最新な領域が $(0, 0)$ から幅1,400、高さ1,050の場合、背景補正領域は $(100, 200)$ から幅300、高さ200の領域となる。

次に、背景補正を行う。前述の例の場合は、 $(100, 200)$ から幅300、高さ200の領域に対応する画像情報をFB2からFB1にコピーする。

最後に、描画し、最新のFBを示す情報を更新する。前述の例の場合は、だ円を描画し、 $(100, 200)$ から幅300、高さ



200の領域はFB1が最新であることを記録する。

2.2 多段並列処理手法

多段並列処理手法とは、画面転送処理の効率的な並列処理を実現するために、画面転送処理の処理ステップごとに、処理内容に応じて並列数を変更する手法である。

具体的には、並列処理における一つの処理の流れ(スレッド)ごとの担当領域を割り当てる際に、領域ごとの処理内容が同一の場合は、領域の面積をあらかじめ決定されたスレッド数で等分割する。また領域ごとの処理内容が異なる場合は、処理内容が同一になるように領域を分割する。これにより、スレッドごとに領域を計算する必要がなくなり、スレッドごとの処理内容を単純化できる。

まず、差分抽出処理は、描画領域ごとの処理内容が同一のため、描画領域の面積を等分割して並列処理する。次に、更新画像生成処理は、画素フォーマットや圧縮方式が表示ノードごとに異なる可能性もあるため、各表示ノードの表示領域ごとに異なる処理を並列に行う。

図2の例では、FB1が描画処理中、FB2が画面転送処理中であり、FB2の描画領域として長方形2, 3, 4の三つの領域が含まれ、2台の表示ノードで表示している。この場合、差分抽出処理は、三つのスレッドでそれぞれ長方形2, 3, 4を並列処理している。また、更新画像生成処理は二つのスレッドでそれぞれ、図2の表示ノード1の表示領域に含まれる長方形2, 長方形3の上半分、及び長方形4の上半分と、表示ノード2の表示領域に含まれる長方形3の下半分及び長方形4の下半分を並列処理している。

3 評価

3.1 実験方法

画面転送の高効率並列化技術を評価するための実験方法を以下に述べる。

レンダリングサーバの仕様を表1に示す。大型ディスプレイは、デスクトップサイズを $4,200 \times 2,100$ 画素 (SXGA+ ($1,400 \times 1,050$ 画素) の6画面分) とし、6台のモニタから成るタイルドディスプレイにした。レンダリングサーバと表示ノードは、Fast Ethernet規格の一つである100BASE-TXのLANで接続した。

多段並列処理手法及び背景補正ダブルFBの効果を評価するために、提案手法のうち並列処理を行わない“シングルスレッド版”及び、提案手法とは異なりshadowFBを用いる“shadowFB版”を評価比較対象とした。圧縮方式には、JPEG (Joint Photographic Experts Group) を用いた。

評価対象の基本情報を表2に示す。提案手法及びshadowFB版は、マルチスレッドのプログラムとして実装し、メインスレッド、タイマスレッド、差分抽出スレッド、及び更新画像生成スレッドを用意した。このうち、メインスレッド及びタイマス

表1. レンダリングサーバの仕様

Specifications of rendering server

項目	仕様
型名	DELL PowerEdge ^(注3) 1950
OS	CentOS 5.2
Xサーバ	X.Org X Server 1.5.3
CPU	Quad-Core Intel [®] Xeon [®] ^(注4) 2.66 GHz×2 (8コア)
メモリ	8 G/バイト
NIC	Broadcom NetXtreme ^(注5) II (1 Gビット/s)

NIC：ネットワークインタフェースカード

表2. 評価対象

Evaluation target

	最大スレッド数	FB構成
提案手法	9	背景補正ダブルFB
shadowFB版	9	shadowFB
シングルスレッド版	1	背景補正ダブルFB

レッドは常に割り当てられており、差分抽出スレッド及び更新画像生成スレッドは動的に割り当てられる。メインスレッドではXサーバが実行され、描画処理などが実行される。この実験では、差分抽出スレッド数は、CPUコア数からメインスレッドを引いた7スレッド、更新画像生成スレッド数は、モニタ数に対応する6スレッドである。

各モニタで画面の10%程度が更新されるようにしたアニメーションコンテンツを再生して評価した。元のコンテンツは30フレーム/sで再生されている。評価は、処理時間に対して行い、それぞれ5回の測定の平均値を求めた。

3.2 実験結果

1フレーム当たりの処理時間を表3に示す。ここで、FB間コピー処理時間とは、提案手法では背景補正処理時間を示し、shadowFB版では描画用FBから転送用FBへのコピー処理時間を示す。

3.3 効果の検証

まず、提案手法とシングルスレッド版を比較すると、表3に示

表3. 1フレーム当たりの処理時間

Results obtained for processing time per frame

	FB間コピー処理 (ms)	差分抽出処理 (ms)	更新画像生成処理 (ms)	合計 (ms)
提案手法	0.0	1.0	5.0	6.0
shadowFB版	1.8	0.9	5.2	7.9
シングルスレッド版	0.0	4.0	21.9	25.9

(注3) DELL, PowerEdgeは、Dell Inc.の商標。

(注4) Intel, Xeonは、米国又はその他の国における米国Intel Corporationの商標。

(注5) Broadcom, NetXtremeは、Broadcom Corporationの商標。

したように、処理時間の合計が、並列化により平均で4.3倍高速化している。また、文献(1)では、差分抽出スレッドごとの担当領域を長方形数で等分割していたため、長方形ごとの大きさが大きく異なりスレッドごとの処理負荷に偏りが生じる場合や、長方形数が少なく処理が割り当てられないスレッドが発生する場合には、差分抽出処理の並列化の効果が見られないことがあった。それに対し今回の方法では、描画領域の面積を差分抽出スレッド数で等分割してスレッドごとの処理負荷を平滑化したことにより、差分抽出処理時間が4倍高速化することを確認できた。

次に、提案手法とshadowFB版を比較すると、表3に示したように、処理時間の合計が、背景補正ダブルFBのメモリコピー削減効果により、平均で1.3倍高速化することを確認できた。

このように、提案手法の効果を確認することができた。処理時間の高速化によって、より画面変化の大きい表示内容や、より大型のディスプレイにも適用が可能になった。

4 あとがき

ディスプレイの大型化に柔軟に対応することを目的とした、タイルドディスプレイシステム用マルチコアレンダリングサーバにおける、画面転送高効率並列化技術について述べた。この技術を適用することで、タイルドディスプレイの大型化に対応することが可能になる。

ディスプレイ大型化のニーズは更に高まると考えられ、今後も当社は、画面転送のより高効率の並列化技術を開発していく。

文献

- (1) 峰松美佳 他. タイルドディスプレイシステム向けマルチコアレンダリングサーバの設計と実装. 情報処理学会論文誌. 54, 2, 2013, p.551-560.



峰松 美佳 MINEMATSU Mika

研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー。
リアルタイム通信処理の研究・開発に従事。
Network System Lab.



後藤 真孝 GOTO Masataka

研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー主任研究員。
オペレーティングシステム及び通信プロトコルの研究・開発に従事。
情報処理学会会員。
Network System Lab.



松澤 茂雄 MATSUZAWA Shigeo

研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー研究主幹。
ネットワークシステムの研究・開発に従事。電子情報通信学会
会員。
Network System Lab.