C-020

BD-J 実行性能向上の研究
Study on BD-J Execution Performance Improvement

是木 玄太†
Genta Koreki

1． はじめに

映像の高精細化とインタラクティブ化に対応するため次世代光ディスク Blu-ray ディスク(BD)が登場し、DVD からの移行期にある。図 1に示す通り、'11 年国内 BD 製品累計出荷台数は 1,000 万台を突破し、今後も増加が予測される。

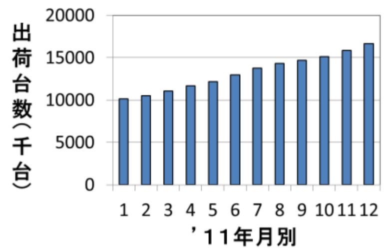

図 1 国内 BD 製品累計出荷台数推移 出典:JEITA[1]

BD の規格化団体、BDA(Blu-ray Disc Association)[2]はインタラクティブ化のために BD-J と呼ばれる Java ベースのコンテンツ記述方式を規格化し、本方式は BD 製品に必須となっている。図 2 の概略に示した通り、BD-ROM 内に記録された Java アプリが、BD-J ミドルにより実行され、コンテンツをインタラクティブに操作できる。コンテンツは操作メニューやゲームであり、操作感を改善し、BD 製品の付加価値を向上させるために、BD-J の実行性能を高める必要がある。

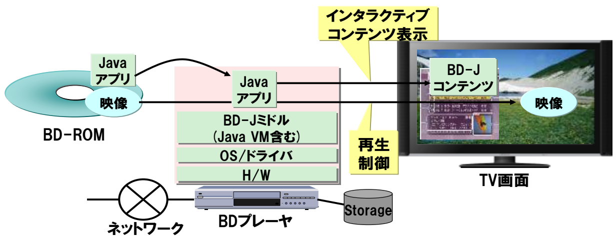

図 2 BD-J 概略

2． 研究目標

BD-J の実行性能で考慮すべき項目は、製品価値向上に直結するメニュー表示時間、ゲーム性能、及び Java 性能である。研究を行う対象機器として、表 1の性能を持つ低価格帯の機器を選定した。この研究対象機器のソフトウェア(S/W)を改良する事で性能向上を行う。達成するべき性能向上目標値を表 1に示す。メニュー表示時間は、スムーズな操作を想定し 1 秒とした。ゲーム性能は、映画やアニメと同等のスムーズな動きを実現するフレームレートを想定し 24fps とした。Java 性能は、BDA が定めた性能ガイドラインに従い、Java 実行環境の性能を測定するベンチマークソフトの値で 10,000 とした。

† 株式会社 日立製作所 横浜研究所

表 1 BD-J 実行性能

#	項目	研究対象機器	
		測定値	S/W 改良目標値
1	メニュー表示時間	2.22 秒	1 秒
2	ゲーム性能	11.5fps	24fps
3	Java 性能	9,074	10,000

本稿では、上記した製品価値向上に直結する三項目の内、ゲーム性能目標値を達成する為の性能解析に関して述べる。人が違和感なくゲームを楽しむには最低 15fps が必要と言われているため、最低でもこの値を上回る必要がある。

3. BD-J ゲーム実行性能の解析

性能ボトルネックを解析する。目標指標となるフレームレートは、BD-J の性能を測定するベンチマークソフト(以後、性能測定アプリ)を用いて導く。

3.1 性能測定アプリの性能解析

性能測定アプリのコード解析を行った結果、処理内容は、転送ピクセル数、転送個数、描画種別で 5 項目に分類できる事が判明した(表 2)。指標フレームレートは、#1 から#5 の相乗平均値（測定値：11.5fps）と定めた。

尚、表 2では、簡単のために性能測定アプリ各項目の処理内容のうち、主要処理のメイン部に絞り記述する。

表 2 性能測定アプリ主要処理(メイン部)および性能 [単位:fps]

#	主要処理内容(メイン部)			性能		
	画像ブロック転送		描画種別	研究対象機器		
	転送ピクセル数	転送個数		測定値	S/W 改良 目標値 24fps	
					予測値	測定値
1	200x200	12	通常	26	33	31
2	100x100	50	通常	14	34	30
3	50x50	200	通常	4	18	21
4	100x100	50	拡大縮小	14	33	33
5	100x100	50	αブレンド	10	17	18
フレームレート(相乗平均値)				11.5	25.8	25.9

ボトルネックを明らかにするために、研究対象機器における性能測定アプリの処理シーケンスを調査した(図 3)。BD-J ミドルに時間取得関数を埋め込み、性能測定アプリの処理を分析したところ、主要処理のグラフィックス処理(以後、主要グラフィックス処理)時間が全体の約 90%である事を確認した。

Copyright © 2012 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

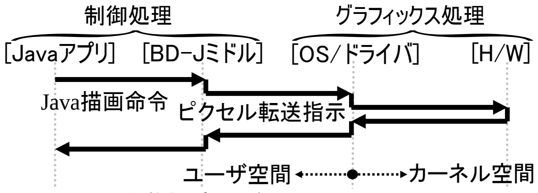

図 3　性能測定アプリの処理シーケンス図

この主要グラフィックス処理時間の詳細を分析するため、OS やドライバの挙動解析ツール、Linux Kernel State Tracer(LKST)の活用を検討した。しかし、LKST と比べて解析粒度は粗くなるが、自作 C プログラムを用いて解析した方がより効率よく解析可能な事が判明したため、後者の方法でボトルネック解析を進める。

3.2　主要グラフィックス処理の分析

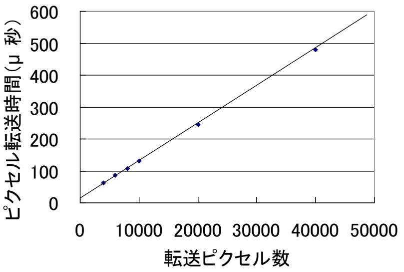

図 4　ピクセル転送時間

仮説を立てて主要グラフィックス処理時間を詳細に分析する。グラフィックス処理は、性能測定アプリ処理内容を分析し、ピクセル転送時間が支配的であると推定した。そこで、主要処理のピクセル転送時間を算出して、実際に掛かった主要グラフィックス処理時間と比較するため、ピクセル転送時間は転送ピクセル数に比例するという仮説を立て、ピクセル数の転送に要する時間を数点測定して、転送ピクセル数を x、転送時間を y として、1 次曲線でフィットした(図 4)。この図から、式 $y = 1.16\times10^{-8}\times x + 1.63\times10^{-5}$ を導出した。

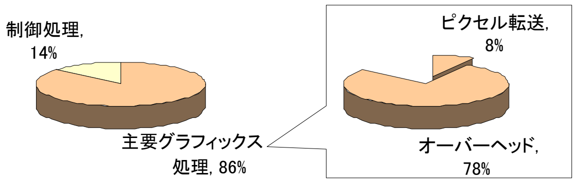

図 5　性能測定アプリ(#3)の主要ｸﾞﾗﾌｨｯｸ処理実行時間内訳

表 2に示す通り、性能測定アプリの性能測定値が 4fps と極端に低い#3 に着目し、先の式を用いてピクセル転送時間を算出した。その結果、全体実行時間の僅か 8%となり(図 5)、推定は誤りである事が判明した。同時に、この結果から、主要グラフィックス処理とピクセル転送時間の差分は、主要グラフィックス処理のオーバーヘッド時間であり、ボトルネックであると推定した。

3.3　性能改良予測

オーバーヘッド時間をゼロにすれば、大幅な性能改善が見込めると考えられる。そこで、改善効果を予測するために、3.2 節で行った分析を、性能測定アプリ全項目に対して行った(表 3）。表 3の改善後実行時間は、表中のピクセル転送時間と制御時間の合計で推定した。

表 3は 1 フレーム当たりの実行時間であるため、性能測定アプリ改善後実行時間の逆数で改良予測 fps を求める事ができる。ただし、表 3の改善後実行時間は主要グラフィックス処理しか考慮していないため、正確な予測を行うため、その他のグラフィックス処理に関しても同様に考慮して計算を行う必要がある。結果を表 2の S/W 改良予測値に示す。表 2に示す通り、フレームレートの相乗平均の予測値が 25.8fps となり、オーバーヘッドを排除すべく、S/W を改良すれば目標値(24fps)を達成できると判断した。

表 3　性能測定アプリ主要処理実行時間内訳（1ﾌﾚｰﾑ当たり）

#	主要グラフィックス処理時間		制御時間(B)	RealApp 改善後実行時間(A+B)
	ピクセル転送時間(A)	オーバーヘッド時間		
1	20.03	8.73	14.48	34.51
2	20.89	56.94	18.46	39.35
3	23.33	222.07	39.33	62.66
4	20.13	55.01	20.48	40.61
5	20.89	53.56	58.46	79.35

[単位:m 秒]

4.　BD-J 実行高速化

性能測定アプリ各項目に対して、表 2の転送個数の比と表 3のオーバーヘッド時間の比に相関がある事に着目し、オーバーヘッドはユーザ空間とカーネル空間との間のコンテキストスイッチが要因であると推定した。

この推定が正しければ、研究対象機器の命令発行方式を図 6に示す命令リスト発行方式に変更すればオーバーヘッドをほぼゼロにできる。

従来方式（図 3）は、発行描画命令Ｎ個に対してスイッチもＮ回発生するが、命令リスト発行方式は、キューに描画命令をＮ個溜めた後に実行するためスイッチが 1 回で済む。つまり、コンテキストスイッチに要する時間を 1/N に短縮できる。

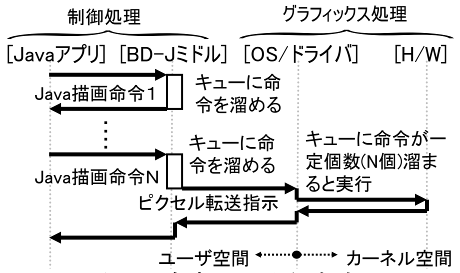

図 6　命令リスト発行方式

5.　まとめと今後の展開

命令リスト発行方式を用いて改良した BD-J ミドルを使用して実測した結果、表 2の S/W 改良測定値に示すように予測通りとなり、これまでに述べた仮説の正当性が検証できた。また、BD-J のゲーム実行性能を 2 倍強向上させ、表 1記載の S/W 改良による目標を達成できた。

今回の成果適用に加えて、S/W の更なる改良、及び H/W の改良により更なる性能向上を図る事ができると考えており、今後も、効果的に BD-J の性能を向上させる手法に関して研究を進める。

6.　参考文献

[1] JEITA HP, http://www.jeita.or.jp/japanese/
[2] BDA HP, http://www.blu-raydisc.com/jp.html

Copyright © 2012 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.