

島村優輝, 山脇彰

(九州工業大学 工学部 電気電子工学科 電子システム工学コース)

1. はじめに

モバイル端末の高性能化と省電力化には計算負荷の高い処理のハードウェア実装が有効であり、ソフトウェアを自動でハードウェアに変換する高位合成(HLS)と回路を動的に再構成可能なFPGAの活用が注目されている。

高位合成はハードウェア構成を考慮してソフトウェアを設計しないと効率的なハードウェアに変換できない。本研究では、スプライト画像の3D回転を対象に、高位合成によるハードウェア化の性能向上と課題について検証する。

2. 3D回転スプライト描画の原理

スプライトの3D回転はアフィン変換と透視投影からなる。

2.1. アフィン変換

3次元空間で、 x, y, z 軸周りの順に σ, ρ, θ 度回転させる場合のアフィン変換は(2.1)式のように表される。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R_z(\theta) \cdot R_y(\rho) \cdot R_x(\sigma) \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

$R_z(\theta) \cdot R_y(\rho) \cdot R_x(\sigma)$ は、各軸の回転行列である。(2.1)式をスプライトの全面素座標に適用し、回転後の座標を求める。

2.2. 透視投影変換

回転後の3次元座標上のスプライトを2Dスクリーンに投影する概念を図1に示す。透視投影変換は3次元空間上の点 (x, y, z) を、焦点距離 f のスクリーンに投影する変換である。視点を原点 $(0,0,0)$ とした場合、スクリーン上の点 (X, Y, Z) は図1中の(2.2)式のように表される。

(2.2)式は、奥行き方向の z が大きくなるほどスクリーン上で小さく描画され、遠近法の視覚効果を表現している。

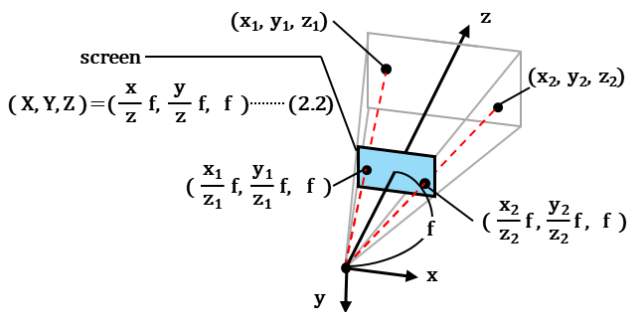


図1 透視投影変換の概念図

2.3. 固定小数点化

実験を通して、スプライト画像の3D回転によって影響が出ない精度範囲で浮動小数点演算を固定小数点演算に変換した。例えば、 \sin, \cos は誤差の絶対値の最大値が最小になるように近似し、整数部は2ビット、小数部は14ビットである。また、(2.2)式は、整数部24ビット、小数部8ビットとして実装した。

3. 実験環境・結果

開発ハードウェアをXilinx社製FPGA(Zynq-7000)に実装した。ハードウェア(FPGA)の動作周波数は100 MHz、ソフトウェア(組込みCPU)は650 MHzである。3種類の画像(正方形)で、画像の中心軸周りに60度回転させた場合の実行時間と動作時電力向上比(3.1式)、および、浮動小数点版と固定小数点版の回路規模を比較した。

$$\text{動作時電力向上比} = \frac{\text{SWの実行時間} \times 650\text{MHz}}{\text{HWの実行時間} \times 100\text{MHz}} \quad (3.1)$$

これらの結果を図2~3に示す。

ソフトウェア実行とハードウェア実行の比較に関して、動作周波数に6.5倍の差があるにも関わらず、ハードウェア化によって、どの画像サイズにおいても性能向上が確認された。また、動作時電力向上比はおおよそ50倍となっており、ハードウェア実行の電力効率が非常に良いと確認できた。

回路規模に関して、浮動小数点演算を固定小数点演算にすることで、回路規模を削減することができた。

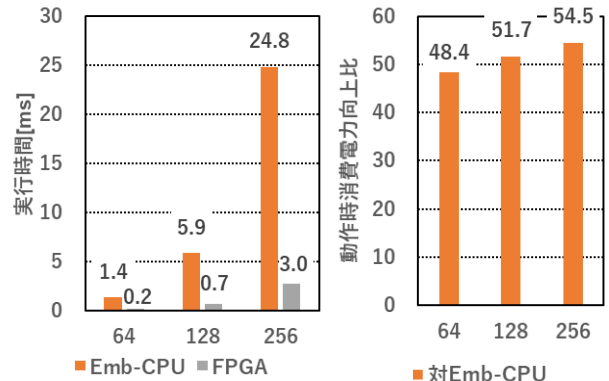


図2 実行時間と動作時電力向上比

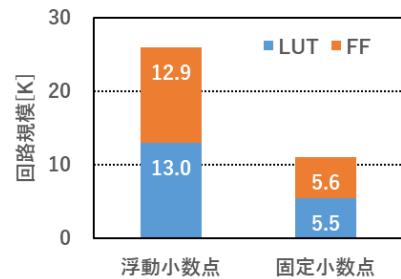


図3 回路規模

4. おわりに

高位合成を用いて、3D回転スプライト描画をハードウェア化し、その評価を行った。結果として、ハードウェア化によって、実行時間、電力効率共に向上した。

今後は3D描画における複数枚描画時の奥行き情報の管理や重なり判定を実装し、その評価を行っていく。