

ゲームボーイの アーキテクチャ

2024/04/23 @CS集会 #24

自己紹介



kimkim0106

VRChat : kimkim0106

Website : <https://kimkim0106.net>

X : @kimkim0106_3218

その他 : Webエンジニアをやっています

ゲームボーイが好きです

修士の頃にFPGAとかCPUをちょっと触った

ゲームボーイとは？

知ってる人~~~~？

ゲームボーイとは？

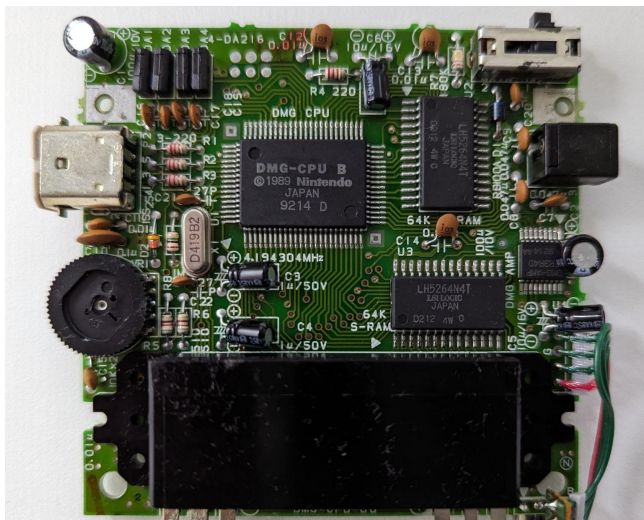
- 任天堂の携帯型ゲーム機
- 1989年 発売
 - モノクロ4階調液晶
- 1998年 カラー発売
 - 32000色カラー液晶
 - 性能もアップ



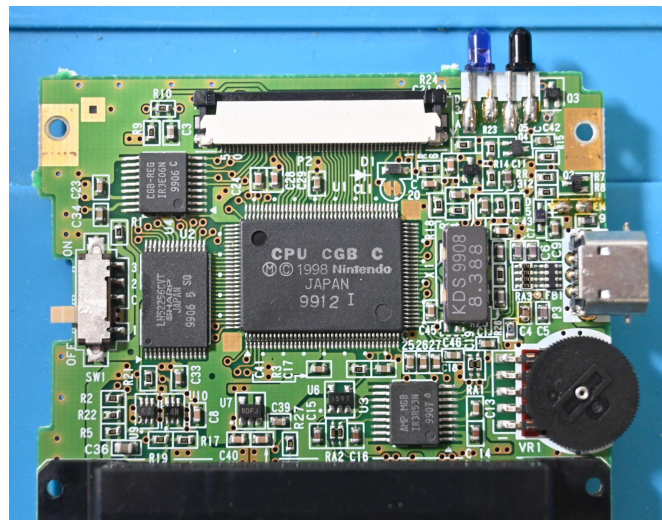
ゲームボーイのハードウェア

	ゲームボーイ	ゲームボーイカラー	(参考)ゲームボーイアドバンス
CPU	DMG-CPU (8bit CISC) @ 4.19 MHz	CGB-CPU (8bit CISC) @ 4.19 MHz, 8.39 MHz	AGB-CPU (ARM7TDMI) @ 16.78 MHz
WRAM	8 KB	32 KB	32KB + 256KB
VRAM	8 KB	16 KB	96KB
Screen	モノクロ4階調 STN液晶 160 x 144 ドット	32768色 反射型TFTカラー液晶 160 x 144 ドット	32768色 反射型TFTカラー液晶 240x160 ドット
Sound	4チャンネル ステレオ出力 矩形波x2, 波形メモリx1, ノイズx1	4チャンネル ステレオ出力 矩形波x2, 波形メモリx1, ノイズx1	6チャンネル ステレオ出力 矩形波x2, 波形メモリx1, ノイズx1, PCMx2
Power	DC 6V 0.7W (単3電池 x 4)	DC 3V 0.6W (単3電池 x 2)	DC 3V 0.6W (単3電池 x 2)

分解してみた



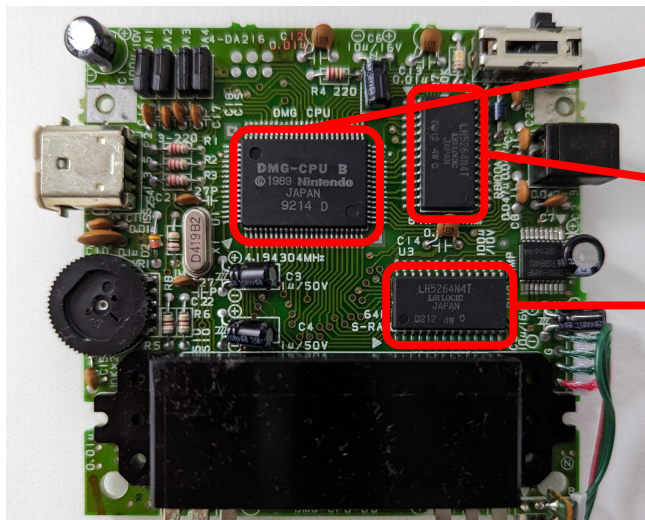
ゲームボーイ
(DMG-CPU-06)



ゲームボーイカラー
(CGB-CPU-03)

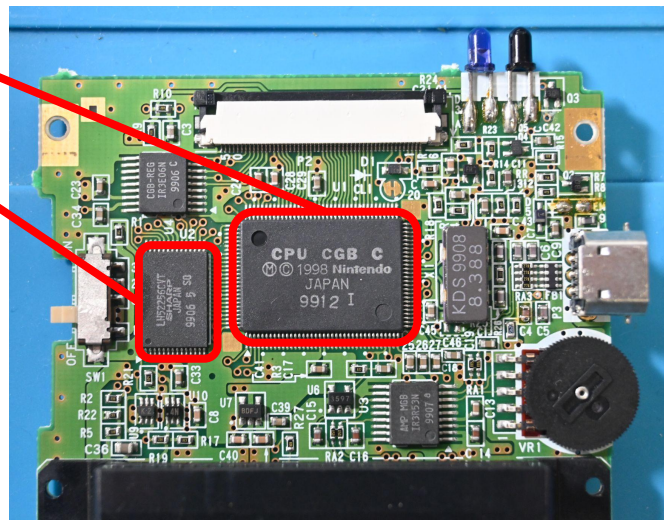
分解してみた

主要なチップはすべてMade in Japan !



ゲームボーイ
(DMG-CPU-06)

CPU
WRAM
VRAM



ゲームボーイカラー
(CGB-CPU-03)

チップの詳細

- ゲームボーイ (DMG-CPU-06)
 - 製造: 1992年3月
 - CPU: DMG-CPU B
 - 製造週: 1992年14週
 - WRAM・VRAM: LH5264N4T (LSI LOGIC)
 - 製造週: 1992年12週
- ゲームボーイカラー (CGB-CPU-03)
 - 製造: 1999年3月11～20日
 - CPU: CGB CPU C
 - 製造週: 1999年12週
 - WRAM: LH52256CVT (SHARP)
 - 製造週: 1999年06週

ゲームボーイのCPUは何なのか？

- ネット上だと LR35902 とか書かれている場合がある
 - 初期のゲームボーイのCPU・基板にかかれていた
 - Z80カスタムとかIntel 8080 likeとかいわれたりする
 - Z80は8080の上位互換
- SHARP の SM83 というCPUコアが使われているらしい
 - SHARPはザイログのセカンドソースメーカーだった
 - しかしZ80で追加されたレジスタ・命令は存在せず、8080相当
- 機種によってCPUの型番は異なる
 - バグがあつたり直っていたりとか色々ある…

CPUの違い

- DMG-CPU
 - ゲームボーイ・ゲームボーイブロスに搭載
- DMG-SGB
 - スーパーゲームボーイに搭載
- CPU MGB
 - ゲームボーイポケット・ゲームボーイライトに搭載
- CPU SGB2
 - スーパーゲームボーイ2に搭載
- CPU CGB
 - ゲームボーイカラーに搭載

CPUの違い

※ ネット上の基板画像からの推測

- DMG-CPU・SGB-CPU
 - VRAMがCPU外部
- CPU MGB・CPU SGB2・CPU CGB A~D
 - VRAMがCPU内部
- CPU CGB E
 - WRAM・VRAMがCPU内部

メモリーマップ

- アドレス空間は16bit
 - 0x10000 x 8bit
 - 64KB (65,536 Byte)

0x0000	16K ROM
0x4000	16K ROM
0x8000	8K VRAM
0xA000	8K External RAM
0xC000	4K WRAM
0xD000	4K WRAM
0xE000	Echo RAM
0xFE00	Object attribute memory (OAM)
0xFFA0	Not Usable
0xFF00	I/O Registers
0xFF80	High RAM (HRAM)
0xFFFF	Interrupt Enable Register (IE)

大容量のゲームはどうしていた？

- 64KB しかない
- そのうち ROM は 32KB
- どうやって大容量のゲームを読み込む？
 - 32KB に収まっているのはごく初期のゲームぐらい

バンク切り替え

- 一部領域はバンク切替可能！
 - $0x4000 \sim 0x7FFF$ の16KB
- カートリッジ側にコントローラ(MBC)が積まれている
 - レジスタに書き込むとバンクが切り替わる
- これによって、32KB以上のROMを使える

バンク切り替え

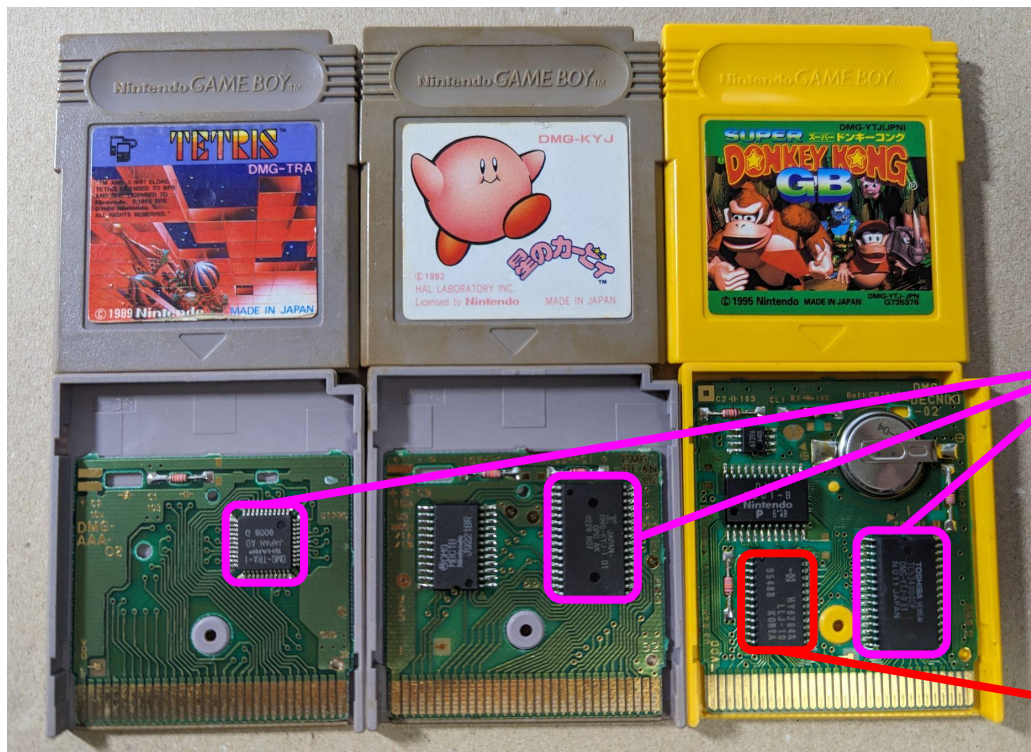
0x0000	16K ROM
0x4000	16K ROM
0x8000	8K VRAM
0xA000	8K External RAM
0xC000	4K WRAM
0xD000	4K WRAM
0xE000	Echo RAM
0xFE00	Object attribute memory (OAM)
0xFFA0	Not Usable
0xFF00	I/O Registers
0xFF80	High RAM (HRAM)
0xFFFF	Interrupt Enable Register (IE)

← ここを切り替える

カートリッジを分解してみた



カートリッジを分解してみた



ROM

RAM

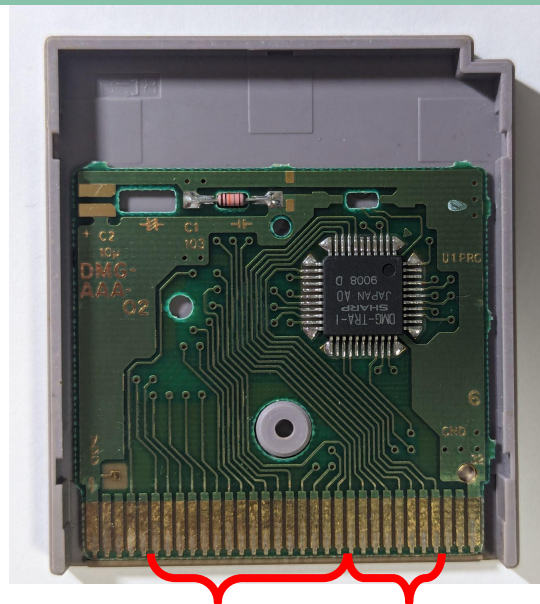
カートリッジを分解してみた

MBC



カートリッジの端子配置

- 32個端子がある
 - 左から1-32
- MBCなしの場合、ROMに直結

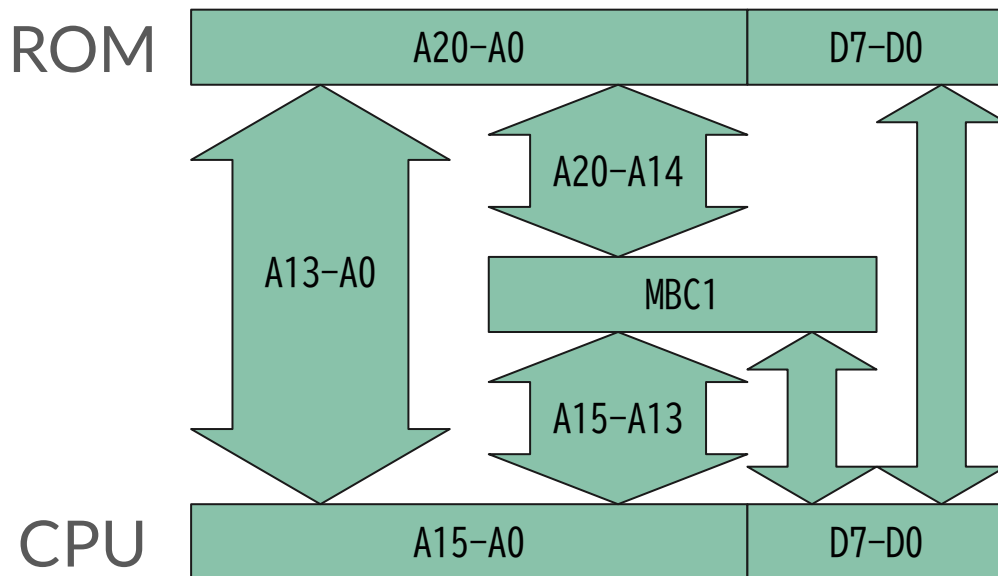


6-21: アドレス
(16bit)

22-29: データ
(8bit)

MBC (Memory Bank Controller)

- MBCありの場合、アドレスの一部がMBC経由になる
 - MBC1の場合2MBまでいけるようになる！



MBC (Memory Bank Controller)

- RAM(セーブデータ領域)もMBC経由
 - RAMもバンク切り替え可能
 - 8K x バンク数
- 時計(RTC)を内蔵したものもある
 - MBC3



ゲームボーイ最大のROMサイズは？

ゲームボーイカラー専用ソフトだと…

- 電車でGO！2
 - MBC5
 - ROM: 8MB (64Mbit)
 - 32Kbit x 2
 - RAM: 32KB (256Kbit)



特殊なMBC

- IR
 - カラー本体に搭載のものとは別物
 - カートリッジにLEDと受光部がついている
- カメラ
 - カートリッジにカメラとメモリが載っている
 - 三菱電機 M64282FP
 - 128x128 px



起動シーケンス

1. \$0000から実行開始
 - 本来はカートリッジのROM領域
 - 起動時はCPU内のブートROMがマッピングされている
2. 色々初期化
3. カートリッジからロゴを読み取る
4. Nintendo® \ピコソ/
5. ロゴを再度読み取り、正しいか確認
6. カートリッジヘッダのチェックサム確認
7. ブートROMのマッピング解除
8. \$0100が実行される
 - カートリッジ側に処理が移る



ロゴのチェック

- カートリッジが接続されているかチェック
- 非正規のロム対策ともいわれている
 - 商標の無断利用で取り締まろうとしたらしい



サウンド

「DOT MATRIX WITH STEREO SOUND」だが…

- 本体スピーカーはモノラル
- イヤホンをつなぐことでステレオ出力可能
 - 最初はイヤホンが付属したらしい

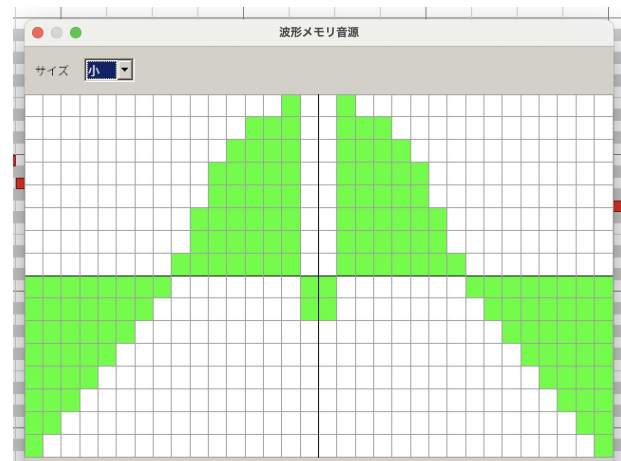


サウンドの仕様

- チャンネル数: 4
 - 1ch: 矩形波
 - 2ch: 矩形波
 - 3ch: 波形メモリ
 - 4ch: ノイズ
- チャンネルごとに左・中央・右にパンニング可能
- カートリッジに音声入力端子がついている
 - 拡張音源みたいなことをやろうと思えばできる
 - 市販ソフトでは採用例がなし

波形メモリ

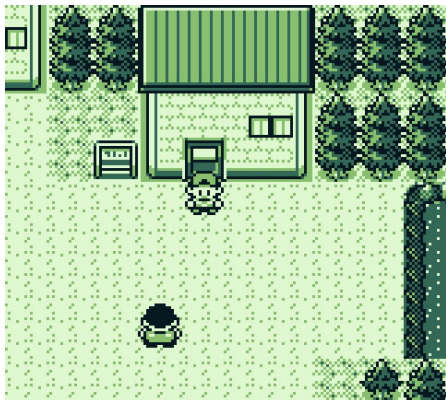
- ゲームボーイの特徴の一つ
- 音色を自由に作れる
 - 16バイト
 - 量子化ビット数: 4bit
 - サンプル数: 32
- 頑張ればPCM音源みたいに使える
 - ピカチュウがしゃべるのはこれ



↑ Retro Music Editorで再現

グラフィック

- ディスプレイ: 160x144 モノクロ 4階調
 - ゲームボーイカラーは32768色中56色
- VRAM: 8KB
 - ゲームボーイカラーは16KB (8KB x 2バンク)



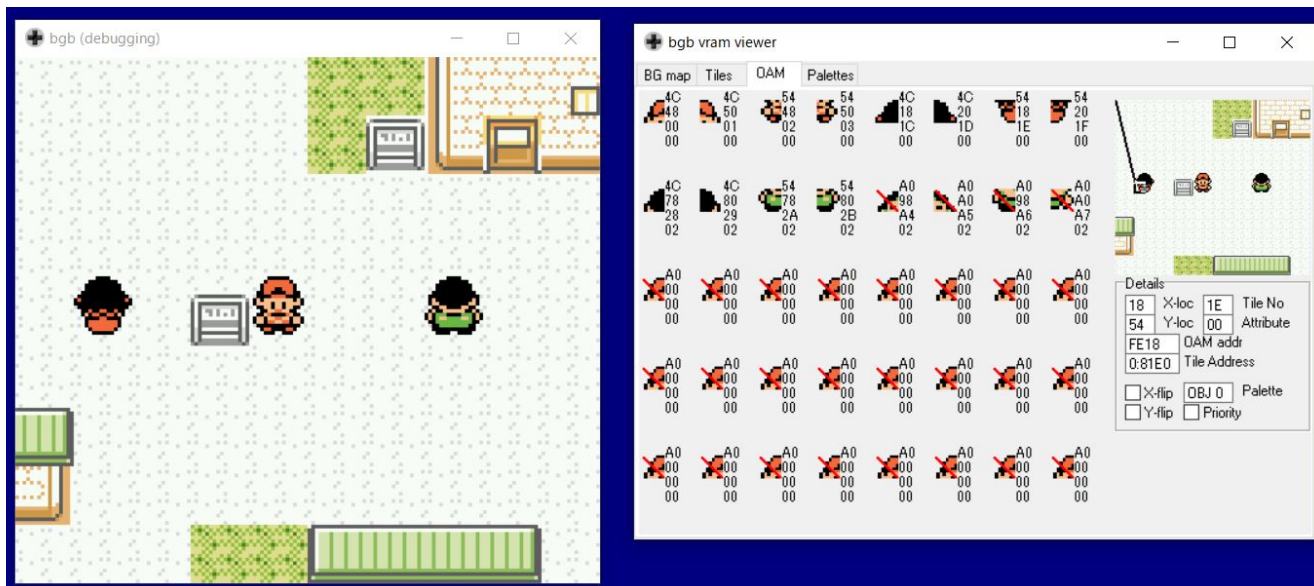
グラフィック

- 背景: 256x256



グラフィック

- スプライト: 40個 (8x8 or 8x16)
 - ただし、1スキャンラインあたり10個まで



ゲームボーイカラーで色がつく仕組み

- モノクロ4階調のそれぞれに4色を割り当てる
 - 14パレット×4色 = 56色



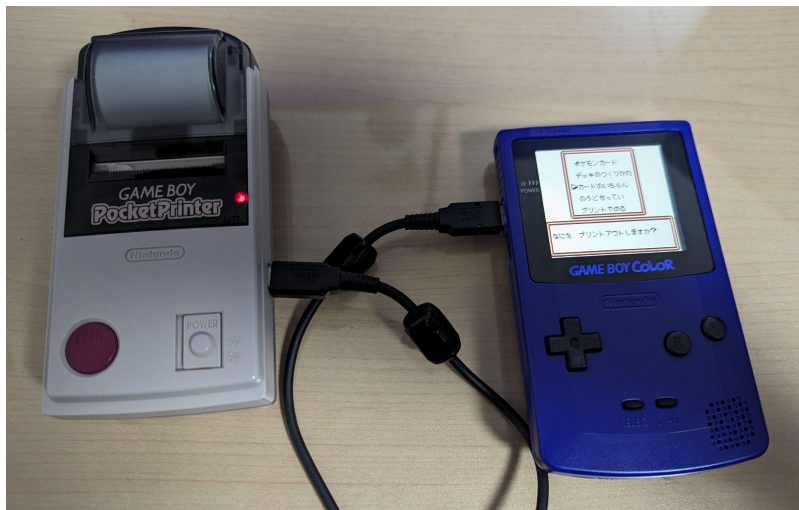
同時発色数は本当に56色？

- 頑張れば56色以上同時に出せる
 - スキャンラインごとにパレットを変更しているっぽい



他にも色々と機能がある

- シリアル通信
 - 通信ケーブル以外にも色々と周辺機器がある
 - ポケットプリンタ、モバイルアダプタGB



割り込み

(このあたりは勉強中なのであんまりわからん…)

- このあたりが使える
 - Joypad
 - Serial
 - Timer
 - LCD
 - VBlank

気になった人は…

- インターネットにたくさん資料がある
 - Pan Docs
 - Game Boy: Complete Technical Reference
- 英語が多いが、日本語のWikiとかもある
 - GB Spec - atwiki
- 前回のLTもぜひ！
 - ゲームボーイアプリ開発の始め方 @エンジニア作業飲み集会

おわり



参考資料

- Pan Docs
<https://gbdev.io/pandocs/>
- Home - Game Boy hardware database
<https://gbhwdb.gekkio.fi/>
- akatsuki105/gb-docs-ja
<https://github.com/akatsuki105/gb-docs-ja>
- ゲームボーイ全機種仕様対比表
<https://www.nintendo.co.jp/n02/dmg/hardware/gbtaihi/index.html>
- Technical data | Game Boy / Pocket / Color | Support | Nintendo
<https://www.nintendo.com/en-gb/Support/Game-Boy-Pocket-Color/Product-information/Technical-data/Technical-data-619585.html>
- CPU - gbadoc
<https://gbadev.net/gbadoc/cpu.html>