



AGH

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**

KATEDRA INFORMATYKI STOSOWANEJ

Praca dyplomowa inżynierska

*Rozszerzenie kompilatora języka C/C++ do obsługi 8-bitowego
procesora RISC*

C/C++ compiler extension for 8-bit RISC processors

Autor:

Kamil Bienek

Kierunek studiów:

Informatyka

Opiekun pracy:

dr. inż. Jakub Grela

Kraków, 2021

Uprzedzony o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.): „Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w błąd co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystycznego wykonania albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie.”, a także uprzedzony o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 211 ust. 1 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (t.j. Dz. U. z 2012 r. poz. 572, z późn. zm.): „Za naruszenie przepisów obowiązujących w uczelni oraz za czyny uchybiające godności studenta student ponosi odpowiedzialność dyscyplinarną przed komisją dyscyplinarną albo przed sądem koleżeńskim samorządu studenckiego, zwanym dalej «sądem koleżeńskim».”, oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i że nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.

Serdecznie dziękuję ... tu ciąg dalszych podziękowań np. dla promotora, żony, sąsiada itp.

Spis treści

| | |
|---|----|
| 1. Wstęp | 7 |
| 1.1. Cele pracy | 7 |
| 1.1.1. Rozszerzenie kompilatora | 7 |
| 1.1.2. Wizualizacja | 7 |
| 1.2. Zawartość pracy | 7 |
| 2. Analiza literatury? | 9 |
| 3. Procesor | 11 |
| 3.1. Architektura RISC | 11 |
| 3.2. Rejestry | 11 |
| 3.3. Instrukcje | 11 |
| 3.4. Format instrukcji | 11 |
| 4. Kompilator | 13 |
| 4.1. Struktura | 13 |
| 4.2. AVR | 13 |
| 4.2.1. AVR-gcc | 13 |
| 4.2.2. instrukcje? | 13 |
| 4.3. MOS 6502 | 13 |
| 4.3.1. Instrukcje | 13 |
| 5. Konwerter | 15 |
| 5.1. Struktura | 15 |
| 5.2. Działanie | 15 |
| 6. Implementacja operacji arytmetycznych | 17 |
| 6.1. Operacje na liczbach całkowitych | 17 |
| 6.1.1. Dodawanie dwóch liczb ośmiobitowych | 17 |
| 6.1.2. Odejmowanie dwóch liczb ośmiobitowych | 17 |
| 6.1.3. Mnożenie dwóch liczb ośmiobitowych | 17 |
| 6.2. Liczby zmiennopozycyjne w standardzie IEEE-754 | 17 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 6.3. | Dodawanie liczb zmiennopozycyjnych | 17 |
| 6.3.1. | Pseudokod | 17 |
| 6.3.2. | UML | 19 |
| 7. | Wizualizacja | 33 |
| 7.1. | Symulator | 33 |
| 8. | Przykłady | 35 |
| 8.1. | Przykład A | 35 |
| 8.2. | Przykład B | 35 |
| 8.3. | Przykład C | 35 |
| 9. | Podsumowanie | 37 |

1. Wstęp

1.1. Cele pracy

1.1.1. Rozszerzenie kompilatora

1.1.2. Wizualizacja

1.2. Zawartość pracy

2. Analiza literary?

3. Procesor

3.1. Architektura RISC

3.2. Rejestry

3.3. Instrukcje

3.4. Format instrukcji

4. Kompilator

4.1. Struktura

4.2. AVR

4.2.1. AVR-gcc

4.2.2. instrukcje?

4.3. MOS 6502

4.3.1. Instrukcje

5. Konwerter

5.1. Struktura

5.2. Działanie

6. Implementacja operacji arytmetycznych

6.1. Operacje na liczbach całkowitych

6.1.1. Dodawanie dwóch liczb ośmiobitowych

6.1.2. Odejmowanie dwóch liczb ośmiobitowych

6.1.3. Mnożenie dwóch liczb ośmiobitowych

6.2. Liczby zmiennopozycyjne w standardzie IEEE-754

6.3. Dodawanie liczb zmiennopozycyjnych

6.3.1. Pseudokod

Algorithm 1 IEEE-754 addition

Require: a - normalized float

1: b - normalized float

Ensure: $c = a + b$

2: *NOP*

3: *NOP*

4: *NOP*

5: *NOP*

6: *NOP*

7: *NOP*

8: *NOP*

9: *NOP*

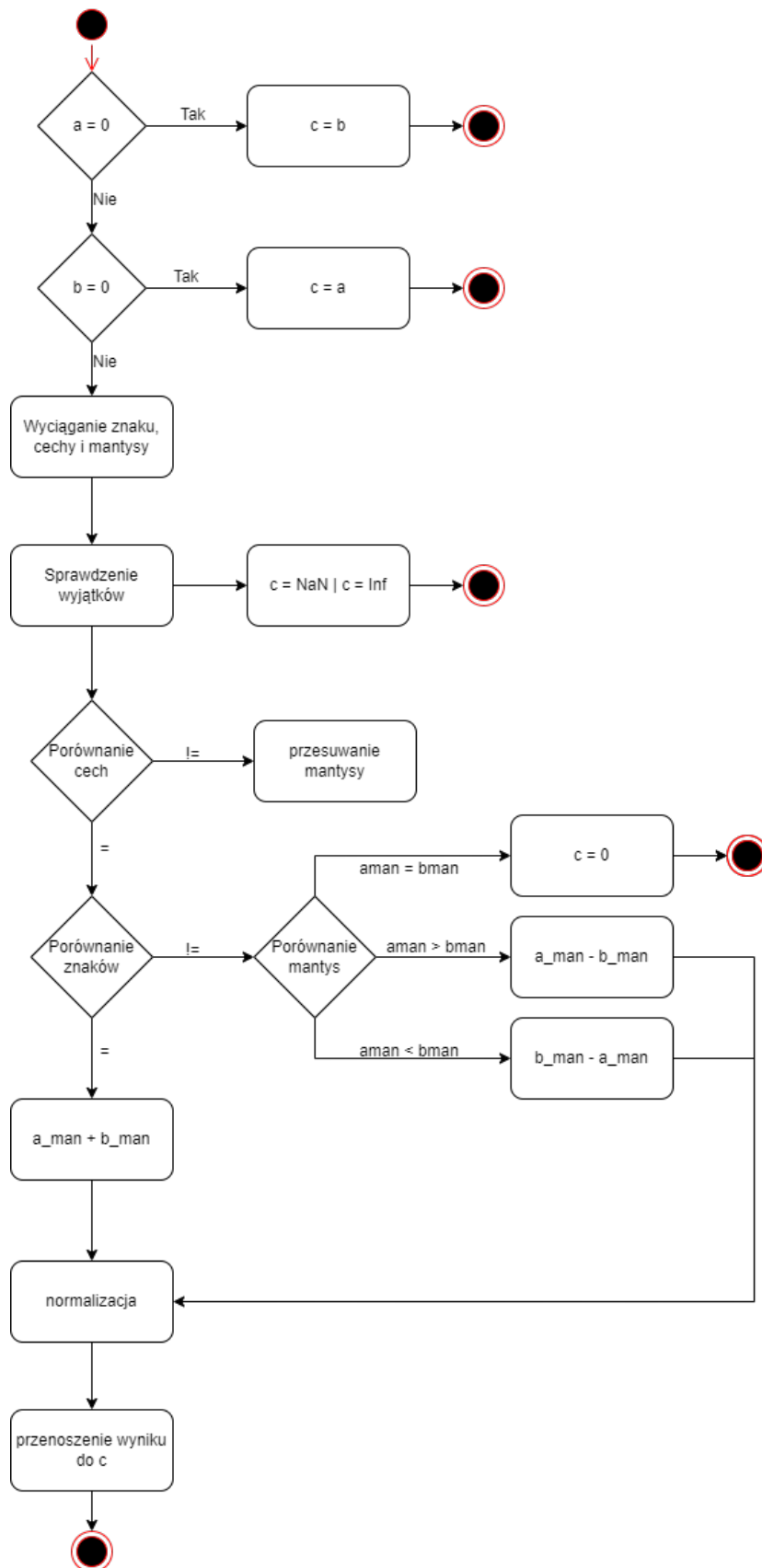
10: *NOP*

11: *NOP*

12: *NOP*

13: *NOP*
14: *NOP*
15: *NOP*
16: *NOP*
17: *NOP*
18: *NOP*
19: *NOP*
20: *NOP*
21: *NOP*
22: *NOP*
23: *NOP*

6.3.2. UML



Listing 6.1. Dodawanie liczb zmiennopozycyjnych

```
1  addf: LIX compare_exp
2      MMA
3      JMP
4  cmp:  LIL [B]+1
5      LIH [B]+1
6  MMA
7  LDA
8  SHL
9  LIL 0x0
10 LIH 0x0
11 MBA
12 ADL
13 ADH
14 MAC
15 MBA
16 LIL [B]
17 LIH [B]
18 MMA
19 LDA
20 SHL
21 MAC
22 CLC
23 OR
24 LIL [expB]
25 LIH [expB]
26 MMA
27 MAC
28 STA
29
30 LIL [A]+1
31 LIH [A]+1
32 MMA
33 LDA
34 SHL
35 LIL 0x0
36 LIH 0x0
37 MBA
38 ADL
39 ADH
40 MAC
41 MBA
42 LIL [A]
43 LIH [A]
44 MMA
45 LDA
```

```
46 SHL
47 MAC
48 CLC
49 OR
50 LIL [expA]
51 LIH [expA]
52 MMA
53 MAC
54 STA
55
56 LIL [expB]
57 LIH [expB]
58 MMA
59 LDA
60 MBA
61 MAC
62
63 XOR
64 LIX not_equal
65 MMA
66 JNE
67 LIX equal
68 MMA
69 JMP
70
71 not_equal:
72 LIL ST
73 LIH ST
74 MMA
75 MAC
76 STA
77 LIL ST-1
78 LIH ST-1
79 MMA
80 LIL 0x0
81 LIH 0x0
82 OR
83 MAC
84 STA
85
86 loop:
87 LIL ST
88 LIH ST
89 MMA
90 LDA
91 CLC
92 SHL
```

```
93 MAC
94 STA
95 LIL 0x0
96 LIH 0x0
97 MBA
98 ADL
99 ADH
100 LIX check
101 MMA
102 JNE
103 LIL ST-1
104 LIH ST-1
105 MMA
106 LDA
107 SHL
108 MAC
109 STA
110 LIX loop
111 MMA
112 JMP
113 HLT
114
115 check:
116 LIL ST-1
117 LIH ST-1
118 MMA
119 LDA
120 SHL
121 LIL 0x0
122 LIH 0x0
123 MBA
124 ADL
125 ADH
126 LIX higherB
127 MMA
128 JNE
129 LIX lowerB
130 MMA
131 JMP
132
133 higherB:
134 LIL [expA]
135 LIH [expA]
136 MMA
137 LDA
138 NOT
139 MAC
```

```
140 MBA
141 LIL [expB]
142 LIH [expB]
143 MMA
144 LDA
145 SEC
146 ADL
147 ADH
148 LIL [exp]
149 LIH [exp]
150 MMA
151 MAC
152 STA
153 // przenoszenie
154 LIL [A]+1
155 LIH [A]+1
156 MMA
157 LDA
158 MBA
159 LIL 0xF
160 LIH 0x7
161 AND
162 LIL [manA]
163 LIH [manA]
164 MMA
165 MAC
166 STA
167 LIL 0x0
168 LIH 0x0
169 MBA
170 LIL [A]+2
171 LIH [A]+2
172 MMA
173 LDA
174 OR
175 LIL [manA]+1
176 LIH [manA]+1
177 MMA
178 MAC
179 STA
180 LIL [A]+3
181 LIH [A]+3
182 MMA
183 LDA
184 OR
185 LIL [manA]+2
186 LIH [manA]+2
```

```
187 MMA
188 MAC
189 STA
190
191 higherBloop:
192 LIL [manA]
193 LIH [manA]
194 MMA
195 LDA
196 SHR
197 MAC
198 STA
199 LIL [manA]+1
200 LIH [manA]+1
201 MMA
202 LDA
203 SHR
204 MAC
205 STA
206 LIL [manA]+2
207 LIH [manA]+2
208 MMA
209 LDA
210 SHR
211 MAC
212 STA
213
214 LIL [exp]
215 LIH [exp]
216 MMA
217 LDA
218 MBA
219 LIL 0x1
220 LIH 0x0
221 NOT
222 MAC
223 SEC
224 ADL
225 ADH
226 MAC
227 STA
228 LIX higherBloop
229 MMA
230 JNE
231 LIX equals
232 MMA
233 JMP
```



```
234 |
235 | lowerB:
236 | LIL [expB]
237 | LIH [expB]
238 | MMA
239 | LDA
240 | NOT
241 | MAC
242 | MBA
243 | LIL [expA]
244 | LIH [expA]
245 | MMA
246 | LDA
247 | SEC
248 | ADL
249 | ADH
250 | LIL [exp]
251 | LIH [exp]
252 | MMA
253 | MAC
254 | STA
255 | // przenoszenie
256 | LIL [B]+1
257 | LIH [B]+1
258 | MMA
259 | LDA
260 | MBA
261 | LIL 0xF
262 | LIH 0x7
263 | AND
264 | LIL [manB]
265 | LIH [manB]
266 | MMA
267 | MAC
268 | STA
269 | LIL 0x0
270 | LIH 0x0
271 | MBA
272 | LIL [B]+2
273 | LIH [B]+2
274 | MMA
275 | LDA
276 | OR
277 | LIL [manB]+1
278 | LIH [manB]+1
279 | MMA
280 | MAC
```

```
281 STA
282 LIL [B]+3
283 LIH [B]+3
284 MMA
285 LDA
286 OR
287 LIL [manB]+2
288 LIH [manB]+2
289 MMA
290 MAC
291 STA
292
293 lowerBloop:
294 LIL [manB]
295 LIH [manB]
296 MMA
297 LDA
298 SHR
299 MAC
300 STA
301 LIL [manB]+1
302 LIH [manB]+1
303 MMA
304 LDA
305 SHR
306 MAC
307 STA
308 LIL [manB]+2
309 LIH [manB]+2
310 MMA
311 LDA
312 SHR
313 MAC
314 STA
315
316 LIL [exp]
317 LIH [exp]
318 MMA
319 LDA
320 MBA
321 LIL 0x1
322 LIH 0x0
323 NOT
324 MAC
325 SEC
326 ADL
327 ADH
```

```
328 MAC
329 STA
330 LIX lowerBloop
331 MMA
332 JNE
333 LIX equals
334 MMA
335 JMP
336
337 equal:
338 //---dodawanie mantys
339 LIL [B] + 3
340 LIL [B] + 3
341 MMA
342 LDA
343 MBA
344 LIL [A] + 3
345 LIH [A] + 3
346 MMA
347 LDA
348 CLC
349 ADL
350 ADH
351 LIL [C] + 3
352 LIH [C] + 3
353 MMA
354 MAC
355 STA
356
357 LIL [B] + 2
358 LIL [B] + 2
359 MMA
360 LDA
361 MBA
362 LIL [A] + 2
363 LIH [A] + 2
364 MMA
365 LDA
366 ADL
367 ADH
368 LIL [C] + 2
369 LIH [C] + 2
370 MMA
371 MAC
372 STA
373
374 LIL [B] + 1
```

```
375 LIL [B] + 1
376 MMA
377 LDA
378 MBA
379 LIL 0xF
380 LIH 0x7
381 AND
382 LIL [C] + 1
383 LIH [C] + 1
384 MMA
385 MAC
386 STA
387 LIL [A] + 1
388 LIH [A] + 1
389 MMA
390 LDA
391 MBA
392 LIL 0xF
393 LIH 0x7
394 AND
395 LIL [C] + 1
396 LIH [C] + 1
397 MMA
398 LDA
399 MBA
400 MAC
401 ADL
402 ADH
403 LIL 0xF
404 LIH 0x7
405 MBA
406 CLC
407 MAC
408 AND
409 MAC
410 STA
411 //---koniec dodawanie mantys
412
413 LIL [A] + 1
414 LIH [A] + 1
415 MMA
416 LDA
417 MBA
418 LIL 0x0
419 LIH 0x8
420 AND
421 LIL [C] + 1
```

```
422 LIH [C] + 1
423 MMA
424 LDA
425 MBA
426 MAC
427 OR
428 MAC
429 STA
430
431 LIL [A]
432 LIH [A]
433 MMA
434 LDA
435 MBA
436 LIL [C]
437 LIH [C]
438 MMA
439 LIL 0x0
440 LIH 0x0
441 OR
442 MAC
443 STA
444
445 HLT
446
447
448 equalall:
449 //---dodawanie mantys
450 LIL [manB] + 2
451 LIH [manB] + 2
452 MMA
453 LDA
454 MBA
455 LIL [manA] + 2
456 LIH [manA] + 2
457 MMA
458 LDA
459 CLC
460 ADL
461 ADH
462 LIL [C] + 3
463 LIH [C] + 3
464 MMA
465 MAC
466 STA
467
468 LIL [manB] + 1
```

```
469 LIL [manB] + 1
470 MMA
471 LDA
472 MBA
473 LIL [manA] + 1
474 LIH [manA] + 1
475 MMA
476 LDA
477 ADL
478 ADH
479 LIL [C] + 2
480 LIH [C] + 2
481 MMA
482 MAC
483 STA
484
485 LIL [manB]
486 LIL [manB]
487 MMA
488 LDA
489 MBA
490 LIL [manA]
491 LIH [manA]
492 MMA
493 LDA
494 ADL
495 ADH
496 LIL [C] + 1
497 LIH [C] + 1
498 MMA
499 MAC
500 STA
501 //---koniec dodawanie mantys
502
503 LIL [B] + 1
504 LIH [B] + 1
505 MMA
506 LDA
507 MBA
508 LIL 0x0
509 LIH 0x8
510 AND
511 LIL [C] + 1
512 LIH [C] + 1
513 MMA
514 LDA
515 MBA
```

```
516 MAC
517 OR
518 MAC
519 STA
520
521 LIL [B]
522 LIH [B]
523 MMA
524 LDA
525 MBA
526 LIL [C]
527 LIH [C]
528 MMA
529 LIL 0x0
530 LIH 0x0
531 OR
532 MAC
533 STA
534
535 HLT
```


7. Wizualizacja

7.1. Symulator

8. Przykłady

8.1. Przykład A

8.2. Przykład B

8.3. Przykład C

9. Podsumowanie