MINUT 2020 (1), s. 124–135
ISSN 2719-3063

Robert BRZESKI[1]

[1]Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

Prawidłowe tworzenie rozkazów asemblerowych dla Maszyny W cz.1

Streszczenie. W artykule przedstawiono przykłady implementacji kilku rozkazów asemblerowych dla Maszyny W wraz z omówieniem błędów realizowanych przez studentów. Pokazano typowe problemy występujące przy implementacji rozkazów oraz zaprezentowano i omówiono prawidłowe rozwiązania. W zakresie prezentacji błędów popełnianych przez studentów skupiono się na tych najczęściej występujących. Przedstawiono także w punktach, zakres materiału teoretycznego potrzebnego do opanowania, jeszcze przed przystąpieniem do realizacji zadań praktycznych. Zestaw ten może być przydatny jako lista kontrolna wstępnie wymaganej wiedzy.

Słowa kluczowe: rozkaz, asembler, optymalizacja, Maszyna W.

1. Wprowadzenie do implementacji rozkazów dla Maszyny W

W procesie dydaktycznym realizowanym na wydziale Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, na kilku kierunkach, w ramach przedmiotu Postawy Informatyki, realizowane jest zagadnienie projektowania rozkazów dla Maszyny W. Pojęcie Maszyny W odnosi się do idei konstrukcji i działania uproszczonego komputera. Zawiera on w sobie podstawowe, najważniejsze elementy maszyny cyfrowej, zgodnej z obecnie powszechnie używaną architekturą von Neumanna. Na prowadzonych zajęciach, w szczególności podczas laboratorium, studenci używają Maszyny W, w postaci programowego symulatora [Rysunek 1]. Zadaniem studentów jest zaimplementowanie przy użyciu mikrosygnałów, pojedynczego rozkazu asemblerowego. Taki rozkaz wykonywany jest w kilku osobnych cyklach procesora zwanych taktami. W każdym takcie należy umieścić odpowiedni zestaw sygnałów mikrosterujących i zakończyć go znakiem reprezentującym koniec taktu. Dla obecnie używanego na laboratorium symulatora jest to średnik. Implementacja rozkazu na dostępnym symulatorze realizowana jest w następującej postaci:

// Dwa znaki ukośnika oznaczają komentarz. Jest on opcjonalny ale warto tu wpisać treść rozkazu która będzie implementowana.

ROZKAZ nazwaRozkazu;

Następnie trzeba umieścić predefiniowane słowo 'ROZKAZ' oraz własną nazwę implementowanego rozkazu. Całość trzeba zakończyć średnikiem.

Autor korespondencyjny: R. Brzeski (Robert.Brzeski@polsl.pl).
Data wpłynięcia: 01.10.2020.

Argumenty liczbaArgumentów;
Kolejną, tym razem opcjonalną częścią jest wpisanie liczby argumentów obsługiwanych przez implementowany rozkaz. Wartością domyślną jest jeden.

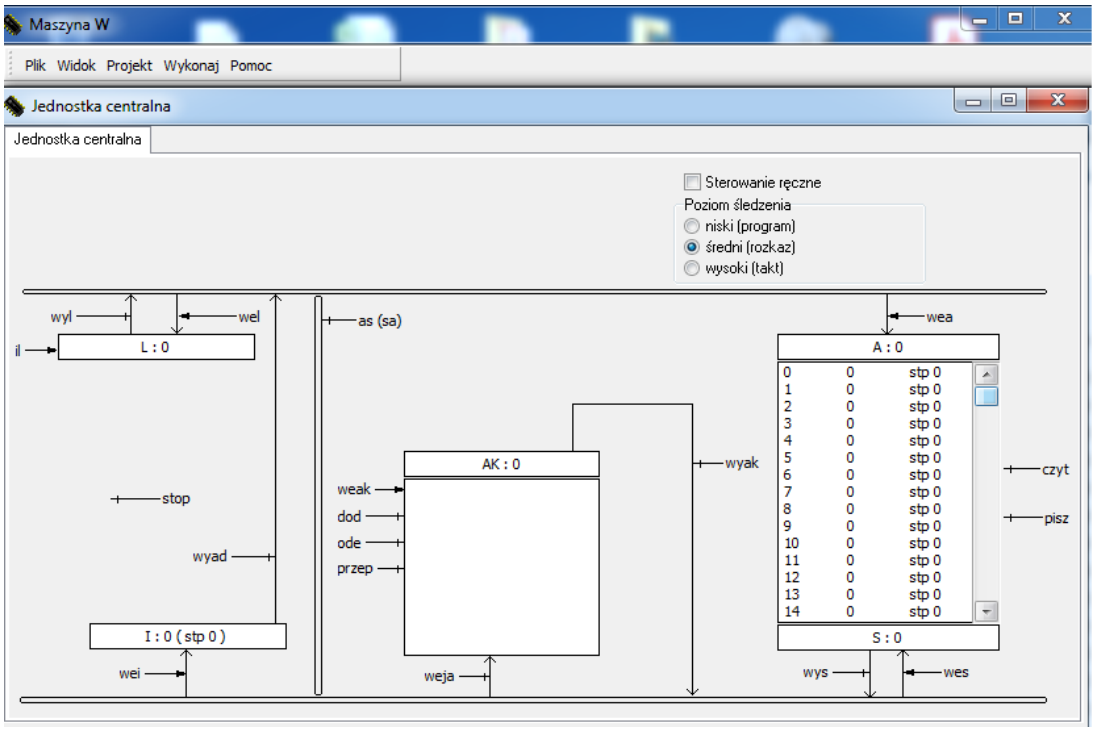
czyt wys wei il;
Pierwszy takt rozkazu. Jest on zawsze taki sam – nie można tu nic dodać ani niczego pominąć. Dla każdego rozkazu składa się z zestawu tych samych czterech mikrosygnałów.

Kolejne takty – zestawy mikrosygnałów;
Każdy takt trzeba zakończyć średnikiem.

Tak zaimplementowany rozkaz, można skompilować na dostępnym symulatorze i uruchomić/wykonać. Wykorzystanie skompilowanego rozkazu najczęściej odbywa się poprzez użycie go i wykonanie w programie, napisanym w języku asemblera Maszyny W, czyli zestawie tego typu rozkazów.

Przed implementacją rozkazu można utworzyć jego projekt w postaci algorytmu, zapisanego w dowolny sposób (np. słownie lub przy użyciu schematu blokowego lub za pomocą poszczególnych przesyłów pomiędzy rejestrami lub pamięcią).

Celem tego artykułu nie jest przedstawianie podstawowych informacji na temat struktury i działania Maszyny W. Taką podstawową wiedzę można uzyskać nie tylko na wykładach, ćwiczeniach czy poprzez zaznajomienie się z materiałami do laboratorium z tego tematu, ale także w opublikowanych artykułach i skryptach [1–5]. W bieżącym artykule zakłada się, że czytelnik ma już podstawową wiedzę teoretyczną i chciałby poszerzyć ją o praktyczne wskazówki dotyczące implementacji rozkazów.



Rysunek 1. Widok okna symulatora Maszyny W, w wersji W+

W ramach tego artykułu przyjmuje się, że czytelnik ma taką wiedzę jaką powinien mieć student przystępujący do laboratorium z opisywanej tematyki, czyli:

1. Zna rejestry wchodzące w skład Maszyny W: S, AK, I, AD, L, A.
2. Zna mikrosygnały sterujące tymi rejestrami.
3. Rozumie różnicę pomiędzy sygnałem poziomym a impulsowym.
4. Zna operacje jakie mogą być wykonywane w JAL (Jednostce Arytmetyczno Logicznej).
5. Umie obsługiwać dostępną pamięć (zapisywanie, odczytywanie wartości).
6. Wie gdzie znajduje się magistrala danych, adresowa oraz połączenie między magistralami, wraz z mikrosygnałem sa.
7. Rozumie ideę i konstrukcję skoku warunkowego 'JEżELI', opartego na testowaniu bitu Z lub ZAK.
8. Zna strukturę rozkazu oraz ideę działania podstawowych, predefiniowanych rozkazów dla Maszyny W (np. rozkazu DOD, SOM, SOB).
9. Rozumie wartości binarne ze znakiem w zapisie uzupełnieniowym do 2.
10. Rozumie ideę podziału/grupowania mikrosygnałów na takty oraz to dlaczego nie jest możliwe wykonanie całego rozkazu w jednym takcie.
11. Zna strukturę wewnętrzną rejestru instrukcji (I, część kodu rozkazu, część adresowa AD).
12. Rozumie sposób zapisu treści rozkazu, w tym między innymi interpretację liczby nawiasów w których umieszczone są nazwy rejestrów.

Powyższe założenia mogą stanowić dla studenta, swego rodzaju listę kontrolną, z zakresu wiadomości potrzebnych do opanowania, jeszcze przed przystąpieniem do ćwiczeń laboratoryjnych. W ramach laboratorium student będzie miał możliwość wdrożenia wiedzy teoretycznej w czasie implementacji zadanych rozkazów asemblerowych. Treść zadań do wykonania będzie przedstawiona w postaci opisu słownego lub w formie skróconej przy użyciu: nazw rejestrów (reprezentowanych przez skróty literowe), nawiasów, wykonywanych operacji lub warunków i wykonywanego przesyłu (przesyłu wartości pomiędzy rejestrami lub pamięcią). Przesył reprezentowany przez znak '$\rightarrow$' oznacza, że wartość uzyskana po lewej stronie $\rightarrow$ jest przesyłana w miejsce wskazywane po prawej stronie $\rightarrow$. Skróty literowe oznaczają poszczególne rejestry. W najprostszej sytuacji np.: (A) $\rightarrow$ B oznacza, że wartość rejestru A należy przesłać do rejestru B. Nawiasy występują wokół skrótów literowych rejestru. Liczba nawiasów ma kluczowe znaczenie. Inaczej jest rozumiana po lewej, a inaczej po prawej stronie przesyłu. Wyjaśnienie liczby nawiasów przedstawione jest na przykładowym rejestrze o nazwie R:

W zależności od liczby nawiasów **po lewej stronie przesyłu**:

(R) – oznacza wartość znajdującą się **w rejestrze R**.

((R)) – oznacza wartość znajdującą się **w pamięci** o adresie wskazywanym przez rejestr R.

(((R))) – oznacza, że wartość rejestru R jest adresem (**wskaźnik**iem) do komórki pamięci, którego wartość ponownie jest **wskaźnik**iem do pamięci, spod którego należy odczytać (pobrać) wartość.

Natomiast **po prawej stronie przesyłu**:

(R) - oznacza, że uzyskaną wcześniej wartość, należy zapisać do pamięci o adresie wskazywanym przez rejestr R (adresie umieszczonym w rejestrze R).

((R)) - oznacza, że wartość rejestru R jest adresem (wskaźnikiem) do komórki pamięci, którego wartość ponownie jest wskaźnikiem do pamięci, pod który należy zapisać wartość 'operacji' uzyskaną z lewej strony przesyłu '$\rightarrow$'.

Artykuł ten jest efektem kilkunastoletnich doświadczeń autora w prowadzeniu zajęć z Podstaw Informatyki, a przedstawione w rozdziale 2 i 3 nieprawidłowości w trakcie tworzenia rozkazów, są oparte na faktycznie popełnianych przez studentów błędach.

2. Ogólne wytyczne dotyczące prawidłowej implementacji rozkazów

W trakcie realizacji przez studentów otrzymanych zadań, dość często pojawia się kilka ogólnych zagadnień utrudniających implementację rozkazu.

Jednym z problemów jakie napotykają studenci jest przeświadczenie o braku wystarczającej liczby dostępnych rejestrów. Wynika to np. z próby zachowania wartości pierwotnych - występujących w rejestrach w momencie rozpoczęcia wykonywania pierwszego taktu rozkazu. Zanim podejmie się próbę zachowania wartości pierwotnej, należy przeanalizować treść zadania do wykonania (czynności wykonywane w trakcie realizacji rozkazu) i wywnioskować czy taka potrzeba w ogóle istnieje. Być może dana wartość i tak będzie zmieniona i nie ma potrzeby, aby ją przechowywać. Jeżeli nie wynika to jawnie z treści zadania, to wartości pierwotnych rejestru AK, A oraz S nie trzeba zachowywać.

Drugi aspekt przeświadczenia o braku wystarczającej liczby dostępnych rejestrów, jest związany z tym, że czasami rzeczywiście nie ma już miejsca (dostępnych rejestrów) do bezpośredniego zachowania wartości, która na końcu rozkazu musi być taka jak wcześniej. W takiej sytuacji należy zastanowić się, czy zamiast zachowywania danej wartość, nie dałoby się jej odtworzyć, np. poprzez wykonanie operacji odwrotnych/przeciwnych, do tych które zmieniły tę potrzebną wartość (jeżeli np. od akumulatora odjęto wartość rejestru S, to, aby przywrócić wartość AK należy do niego dodać wartość rejestru S – oczywiście dotyczy to tylko sytuacji, w której wartość rejestru S nie uległa zmianie).

Kolejny powód przeświadczenia studentów o braku wystarczającej liczbie dostępnych rejestrów i braku możliwości wykonania zadania, wynika z próby implementacji nieprawidłowego lub nieodpowiedniego (nieoptymalnego) algorytmu. W takiej sytuacji należy znaleźć inny sposób rozwiązania. Należy podkreślić, że wszystkie zadanie dawane do realizacji studentom są przetestowane i możliwe do realizacji na dostępnej liczbie rejestrów.

Niektóre rozwiązania studentów są tak abstrakcyjne, nie tylko w tak wielu elementach nieoptymalne ale posiadające całe zestawy błędów, że aż trudno je komentować. Czasami tak bardzo nie wiadomo 'co student miał na myśli' (czyli np. w miarę realizacji rozkazu, student wielokrotnie zmieniał koncepcję rozwiązania, lub też raczej nieskutecznie próbował ją znaleźć), tak bardzo brakuje całościowej, spójnej

koncepcji rozwiązania i zrozumienia poszczególnych jego elementów, że jedyną słuszną drogą jest odesłanie studenta do ponownego (a może pierwszego) zaznajomienia się z podstawowymi informacjami dotyczącymi projektowania rozkazu i tematyki Maszyny W.

Czasami zdarzają się błędy drobne typu nieprawidłowa nazwa mikrosygnału, brak średnika w miejscu w którym chciano zakończyć takt, czy też błąd składniowy w instrukcji skoku warunkowego.

Innej kategorii błędem, ale czasami występującym, jest sytuacja w której student zamiast samodzielnej realizacji zadania, kopiuje je z innego źródła. Wynikiem może być pojawienie się u różnych studentów tych samych, często bardzo nietypowych błędnych rozwiązań. W ten sposób student nie daje sobie, ani możliwości zrozumienia występujących uwarunkowań, ani nabycia praktycznych umiejętności w zakresie nie tylko implementacji ale i tworzenia prawidłowo działających, optymalnych algorytmów. Rozwiązaniem w takiej sytuacji może być przekazanie studentowi do realizacji nietypowego lub nowego rozkazu.

Jeżeli student opanował podstawy teoretyczne dotyczące tematu projektowania rozkazów, to czasami i tak pojawiają się błędy pojedyncze. Są one często na tyle typowe, na tyle często powtarzające się, że można zebrać je w zbiór błędów podstawowych i w ten sposób wskazać nie tylko te elementy na które warto zwrócić uwagę, ale dać informację na temat prawidłowego sposobu rozwiązania/implementacji. Tego typu błędy wraz z rozwiązaniami zostały przedstawione szczegółowo w rozdziale 3.

Ogólnie zagadnienie optymalizacji rozkazów, prawidłowego ich tworzenia, polega na tym, aby zaimplementować prawidłowo działający rozkaz, w na tyle na ile to możliwe, najmniejszej liczbie taktów. Czyli parafrazując Alberta Einsteina, należy utworzyć rozkaz na tyle prosty na ile tylko jest to możliwe, ale nie prościej.

3. Przykłady błędów przy implementacji rozkazów

W tym rozdziale zostaną zaprezentowane konkretne przykłady, wraz z omówieniem typowych implementacji nieprawidłowych oraz przedstawieniem rozwiązania prawidłowego.

3.1. Błąd związany z brakiem prawidłowego zakończenia rozkazu.

Omówienie zagadnienia:

Rozkaz poza realizacją zadania właściwego, musi także przygotować komputer do realizacji kolejnego rozkazu, który przy realizacji całego programu, będzie realizowany jako rozkaz następny. Aby to zrealizować, w rejestrze A musi znaleźć się adres właśnie tego kolejnego rozkazu. Jeżeli rozkaz zgodnie ze swoja treścią, nie wykonuje skoku do wyznaczonego miejsca w programie, to następny rozkaz do wykonania jest kolejnym i wtedy wystarczy, aby w rejestrze A nalazła się wartość z rejestru licznika, który w pierwszym takcie został zwiększony o jeden (mikrosygnałem *il*), czyli właśnie na adres następnego rozkazu po bieżącym. Zwykle realizowane jest to mikrosygnałami ***wyl wea***.

Błędny przykład 1.1 (Wartość rejestru akumulatora dodać do wartości rejestru AD, wynik dodawania pozostawić w rejestrze akumulatora):

```
// (AK) + (AD) → AK
ROZKAZ ZJ-J;
czyt wys wei il;
wyad sa weja dod weak; // błąd - brak zakończenia rozkazu
```

Prawidłowe rozwiązanie 1.1:

// (AK) + (AD) → AK
ROZKAZ ZJ-J;
czyt wys wei il;
wyad sa weja dod weak;
wyl wea; // w rejestrze A musi znaleźć się wartość rejestru licznika

Jeżeli w rozkazie występuje instrukcja skoku warunkowego ('JEżELI...') to odpowiednie zakończenie rozkazu musi znaleźć się w każdej ścieżce (instrukcji JEżELI).

Błędny przykład 1.2 (Sprawdzić która z dwu wartości jest mniejsza i umieścić tę wartość w rejestrze akumulatora. Początkowo pierwsza wartość jest w akumulatorze a druga w rejestrze AD):

// min{(AK), (AD)} → AK
ROZKAZ ZJ-D;
czyt wys wei il;
wyad sa wes weja ode weak
JEżELI z TO @wieksza GDY NIE @mniejsza;
@wieksza wys weja dod weak **wyl wea** KONIEC; // w tej ścieżce jest prawidłowe zakończenie
@mniejsza wys weja przep weak; // błąd - brak zakończenia w tej ścieżce

Prawidłowe rozwiązanie 1.2:

// min{(AK), (AD)} → AK
ROZKAZ ZJ-D;
czyt wys wei il;
wyad sa wes weja ode weak
JEżELI z TO @wieksza GDY NIE @mniejsza;
@wieksza wys weja dod weak **wyl wea** KONIEC;
@mniejsza wys weja przep weak **wyl wea**; // obie ścieżki muszą odpowiednio kończyć rozkaz

Jeżeli jednak w bieżącym rozkazie jest do wykonania skok, to wtedy adres spod którego będzie czytany następny rozkaz, musi zostać umieszczony nie tylko w rejestrze A, ale także w rejestrze L, aby można kontynuować program od właśnie tego adresu. Przykładowo, jeżeli odpowiedni adres (zgodnie z treścią rozkazu do implementacji) miałby zostać pobrany z rejestru AD, to należałoby wykonać mikroinstrukcje *wyad wel wea*.

Błędny przykład 1.3 (Wartość rejestru akumulatora dodać do wartości rejestru AD, a następnie wynik umieścić w rejestrze licznika – w ten sposób następuje skok w inne miejsce pamięci operacyjnej, czyli w inne miejsce umieszczonego w pamięci programu):

// (AK) + (AD) → L
ROZKAZ ZJ-T;
czyt wys wei il;

wyad sa weja dod weak;
wyak sa wel; // błąd - brak zakończenia rozkazu – wartość licznika nie została przesłana do A

Prawidłowe rozwiązanie 1.3:

// (AK) + (AD) → L
ROZKAZ ZJ-T;
czyt wys wei il;
wyad sa weja dod weak;
wyak sa wel **wea**; // ta sama wartość musi się znaleźć w liczniku i rejestrze A

3.2. Błąd związany z utratą wartości licznika w trakcie wykonywania rozkazu.

Omówienie zagadnienia: Zawartość rejestru licznika (L), przede wszystkim z powodu kontekstu wykonywania całego programu, jest na tyle kluczowa, że zazwyczaj nie można jej utracić. Jedynie w sytuacji, gdy w ramach rozkazu wykonywany jest skok, wartość licznika jest odpowiednio nadpisywana. W innych sytuacjach jest odpowiednio inkrementowana, najczęściej o wartość 1, w porównaniu do wartości jaka była tam w momencie rozpoczęcia wykonywania danego rozkazu (jeszcze przed wykonaniem pierwszego taktu). Nie można więc jej całkowicie utracić, a jeżeli w trakcie wykonywania rozkazu zostanie chwilowo zmieniona, to należy odpowiednią wartość przywrócić.

Błędny przykład 2.1 (Wartość rejestru AD zdekrementować o jeden i taki wynik umieścić w akumulatorze):

// (AD) -1 → AK
ROZKAZ ZD-J;
czyt wys wei il;
wyad sa weja przep weak;
wyl sa weja dod weak wea **il**; // błąd - utrata wartości licznika – nie został on nigdzie zapisany
wyl sa weja ode weak;

Prawidłowe rozwiązanie 2.1:

Dla tego rozkazu, przed zmianą wartości - zinkrementowaniem licznika o 1, jego wartość pierwotna zapisywana jest w rejestrze S [takt 3 - *wyl sa wes*] i jest przywracana [takt 5 - *wys sa wel*] po wykonaniu innych operacji [takt 4]. W ten sposób ostatecznie wartość licznika nie ulega utracie, mimo wykonania zmiany jego wartości. Dla tego rozkazu warto dodatkowo zauważyć, że w ostatnim takcie wartość licznika nie jest wpisywana do rejestru A. Zostało to już zrealizowane w trzecim takcie mikrosygnałem *wea*. Oczywiście ten sygnał *wea* zamiast w trzecim takcie, mógłby się znaleźć w ostatnim, ważne jest, aby po wykonaniu całego rozkazu, w rejestrze A znajdowała się ta sama wartość co w rejestrze L.

// (AD) - 1 → AK
ROZKAZ ZD-J;
czyt wys wei il;
wyad sa weja przep weak;
wyl sa weja dod weak wea **wes il**; // takt 3

wyl sa weja ode weak; // takt 4
wys sa wel; //takt 5

3.3. Błąd związany z nieodpowiednim zakończeniem pierwszej ścieżki instrukcji warunkowej 'JEżELI'.

Omówienie zagadnienia:

Pierwsza ścieżka instrukcji 'JEżELI' musi być odpowiednio zakończona. Jeżeli rozkaz ma się zakończyć po wykonaniu pierwszej ścieżki, to należy zakończyć go słowem kluczowym **KONIEC** (tak jak w rozdziale 3.1. dla rozkazu ZJ-D [przykład 1.2]). Jeżeli natomiast chcielibyśmy, aby wykonywanie rozkazu było kontynuowane, to należy umieścić słowo kluczowe **DALEJ** wraz z **nazwą etykiety** dla drugiej ścieżki. Bez odpowiedniego słowa kluczowego wystąpi błąd przy kompilacji rozkazu i student czasami traci dużo czasu na znalezienie przyczyny występowania tego błędu.

Błędny przykład 3.1 (Jeżeli wartość w akumulatorze jest mniejsza od wartości rejestru AD, wtedy początkową wartość licznika należy zwiększyć o wartość 3, w przeciwnej sytuacji początkową wartość licznika należy zwiększyć o jeden):

// if (AK) < (AD) then (L)+3 → L else (L)+1 → L
ROZKAZ ZT-J;
czyt wys wei il;
wyad sa weja ode weak
JEżELI z TO @wieksza GDY NIE @mniejsza;
@wieksza il;
il; // błąd - brak odpowiedniego słowa kluczowego
@mniejsza wyl wea;

Prawidłowe rozwiązanie 3.1:

// if (AK) < (AD) then (L)+3 → L else (L)+1 → L
ROZKAZ ZT-J;
czyt wys wei il;
wyad sa weja ode weak
JEżELI z TO @wieksza GDY NIE @mniejsza;
@wieksza il;
il **DALEJ @mniejsza**; // dodano słowo kluczowe **DALEJ** oraz nazwę etykiety **@mniejsza**
@mniejsza wyl wea;

3.4. Błąd związany z ponownym wpisaniem wartości do rejestru I.

Omówienie zagadnienia:

Rejestr I ma specjalne przeznaczenie i w trakcie wykonywania rozkazu, poza pierwszym taktem, nie można do niego wpisywać jakichkolwiek wartości. Można jedynie odczytywać jego część AD. Jeżeli taki błąd student zrobi w trakcie laboratorium, to otrzyma błąd już w trakcie kompilacji rozkazu. Jeżeli natomiast ten błąd pojawi się w czasie egzaminu, to takie zadanie zazwyczaj oceniane jest na ocenę negatywną, bez względu na pozostałą jego zawartość.

Błędny przykład 4.1 (Do wartości akumulatora należy dodać wartość komórki pamięci, o adresie wskazywanym przez początkową wartość akumulatora. Wynik tego dodawania należy umieścić w rejestrze akumulatora):

// (AK) + ((AK)) → AK
ROZKAZ ZC-J;
czyt wys wei il; //pierwszy takt rozkazu
wyak **wei**; // błąd - poza pierwszym taktem nie można używać mikrosygnału wei
wyad wea;
czyt wys weja weak dod wyl wea;

Prawidłowe rozwiązanie 4.1:

// (AK) + ((AK)) → AK
ROZKAZ ZC-J;
czyt wys wei il;
wyak **sa** wea; // wartość przesłana jest przez połączenie między magistralą danych a adresową
czyt wys weja weak dod wyl wea;

3.5. Błąd związany z umieszczaniem mikrosygnałów w nieodpowiednim takcie.

Omówienie zagadnienia:

Umieszczanie mikrosygnału w nieodpowiednim takcie może spowodować błędne działanie rozkazu, często zupełnie inne niż student przewidywał. W danym takcie ciąg mikrosygnałów powinien stanowić zamknięty ciąg czynności. Najczęściej jest to przesłanie danej na magistralę i wpisanie tej danej z magistrali do innego rejestru. Magistrala jest jedynie medium transmisyjnym i nie przechowuje wartości umieszczonych tam danych pomiędzy taktami procesora. Nie można więc odczytywać w kolejnym takcie, wartości umieszczonej na magistrali w poprzednim takcie. Nie można także w jednym takcie umieszczać na tej samej magistrali danych z więcej niż jednego rejestru.

Błędny przykład 5.1: (Podwójną początkową wartość akumulatora należy dodać do wartości rejestru AD. Wynik tego dodawania należy umieścić w rejestrze akumulatora):

// 2*(AK) + (AD) → AK
ROZKAZ ZP-J;
czyt wys wei il;
wyak weja dod weak **wyad sa** wes; // błąd - jednoczesne używanie tej samej magistrali
wys weja dod weak wyl wea;

Błędny przykład 5.2 (treść rozkazu jak w przykładzie 5.1):

// 2*(AK) + (AD) → AK
ROZKAZ ZP-D;
czyt wys wei il;
wyak weja dod weak;
wyad sa; // przesłanie wartości na magistralę danych bez wpisania jej do jakiegokolwiek rejestru

weja dod weak wyl wea; // błąd - próba odczytu z pustej magistrali

Prawidłowe rozwiązanie 5.1 i 5.2:

// 2*(AK) + (AD) → AK
ROZKAZ ZP-J; // oraz ZP-D
czyt wys wei il;
wyak weja dod weak **wyl wea**; // na każdą z magistral wpisano tylko jedną wartość
wyad sa weja dod weak; // po wysłaniu wartości na magistralę, w tym samy takcie jest pobierana

Warto przy tym podkreślić, że w przedostatnim takcie rozkazu dopisano sygnały *wyl wea*, które powodują poprawne zakończenie tego rozkazu (a przy okazji została zoptymalizowana liczba taktów tego rozkazu). Zwykle tę parę sygnałów dopisujemy do ostatniego taktu. Jednak w tym przypadku ze względu na fakt, że w ostatnim takcie używane są obie magistrale, nie jest to możliwe. Trzeba więc byłoby dopisać dodatkowy takt wraz tymi sygnałami (*wyl wea*), wydłużając tym samym liczbę taktów. Możemy jednak zauważyć, że w przedostatnim takcie magistrala adresowa nie była używana, więc tę parę sygnałów (przygotowującą rejestr adresowy do poprawnego rozpoczęcia kolejnego rozkazu) można było dopisać wcześniej.

Błędny przykład 5.3 (Jeżeli wartość akumulatorze jest mniejsza od wartości rejestru AD wtedy początkową wartość licznika należy zwiększyć o wartość 3 w przeciwnej sytuacji początkową wartość licznika należy zwiększyć o jeden):

// if (AK) < (AD) then (L)+3 → L else (L)+1 → L
ROZKAZ ZP-T;
czyt wys wei il;
wyad sa weja ode weak
JEżELI z TO @wieksza GDY NIE @mniejsza;
@wieksza il **il** DALEJ @mniejsza; // błąd - nie można w tym samym takcie inkrementować
// licznika więcej niż jeden raz
@mniejsza **il** wyl wea; // błąd opisany poniżej

W ostatnim takcie, inkrementacja wartości licznika (*il*) zostanie zrealizowana dopiero po wysłaniu wartości nieinkrementowanej (do A poprzez *wyl wea*). W tym konkretnym przykładzie, student pokazuje jak wielu elementów jeszcze nie rozumie. Zwiększenie licznika w ten sposób najprawdopodobniej spowoduje błędne wyznaczenie kolejnego rozkazu do wykonania, w czasie realizacji następnego rozkazu po bieżącym. Jednocześnie takie użycie inkrementacji licznika, w zależności od treści zadania, może nie realizować wymaganej w bieżącym rozkazie czynności.

Prawidłowe rozwiązanie 5.3:

// if (AK) < (AD) then (L) +3 → L else (L) +1 → L
ROZKAZ ZP-T;
czyt wys wei il;
wyad sa weja ode weak

JEżELI z TO @wieksza GDY NIE @mniejsza;
@wieksza **il;** // po wykonaniu inkrementacji następuje zakończenie taktu
il DALEJ @mniejsza; // kolejna inkrementacja L jest wykonywana niezależnie od poprzedniej
@mniejsza wyl wea; // w tym takcie przesłana do A wartość licznika nie zostaje już zmieniona

3.6. Błąd związany z nieprawdziwym założeniem co do wartości danego rejestru.

Omówienie zagadnienia:

Nie można robić wstępnych (nieprawdziwych) założeń, co do wartości danego rejestru np., że zawartość rejestru licznika jest równa jeden. Niestety studenci często robią takie nieprawidłowe założenia. W kontekście licznika, prawdopodobnie związane jest to z brakiem świadomości szerszego kontekstu wykorzystania tworzonego rozkazu. Rozkazy asemblerowe są tworzone po to, aby tworzyć z nich całe programy. Pojedynczy rozkaz, jeżeli zostanie umieszczony w programie jako pierwszy, to w czasie wykonania jego pierwszego taktu, inkrementuje on licznik do wartości 1. Wynika to z tego, że adresacja pamięci rozpoczyna się od wartości 0 i to od niej Maszyna W zaczyna wykonywać cały program. Kolejne rozkazy będą ponownie zmieniać wartość licznika, zazwyczaj na wartość inną niż 1. Dlatego jedynie rozkaz umieszczony w programie jako pierwszy, uzyska wartość w liczniku równą 1 i tylko wtedy rozkaz zakładający taką wartość w liczniku, mógłby działać prawidłowo. Celem utworzenia rozkazu jest jednak, aby działał on w dowolnym miejscu programu. Dlatego nie można robić założeń co do jakichkolwiek konkretnych wartości w poszczególnych rejestrach. Przyjmujemy zatem, że w rejestrach są jakieś nieznane wartości, na których zgodnie z treścią danego rozkazu, wykonuje on odpowiednie operacje.

Błędny przykład 6.1 (Wartość rejestru AD zdekrementować o jeden i taki wynik umieścić w akumulatorze):

// (AD) - 1 → AK
ROZKAZ ZS-J;
czyt wys wei il;
wyad sa weja przep weak;
wyl sa weja ode weak wea; // błąd - nieuprawnione założenie o zawartej w liczniku wartości 1

Prawidłowe rozwiązanie 6.1:

// (AD) - 1 → AK
ROZKAZ ZS-J;
czyt wys wei il;
wyad sa weja przep weak;
wyl sa weja dod weak wea wes **il**; // takt 3
wyl sa weja ode weak; // takt 4
wys sa wel; //takt 5

Tym razem bez względu na pierwotną wartość licznika, dodając tę wartość do akumulatora [takt 3 – *wyl sa weja dod weak*] i zwiększając jej wartość o jeden [takt 3 – *il*], a następnie odejmując od akumulatora tę zwiększoną wartość licznika [takt 4 – *wyl sa weja ode weak*] w efekcie odejmuje się od akumulatora pożądaną wartość 1.

4. Wnioski końcowe

W rozdziale 1 umieszczono wytyczne dotyczące przygotowania studenta do zajęć laboratoryjnych. W rozdziale 2 omówiono ogólne zagadnienia dotyczące rozwiązywania potencjalnych problemów, występujących przy implementacji rozkazów asemblerowych dla Maszyny W. W rozdziale 3 przedstawiono przykłady podstawowych błędów popełnianych przez studentów wraz z rozwiązaniami prawidłowymi. Na tej podstawie można utworzyć zbiór błędów typowych:

1. Brak prawidłowego zakończenia rozkazu - to zakończenie musi być w każdej możliwej ścieżce.
2. Utrata wartości licznika w trakcie wykonywania rozkazu - wartość licznika jest kluczowa, nie można jej 'tak po prostu' utracić.
3. Nieodpowiednie zakończenie pierwszej ścieżki instrukcji 'JEżELI'. Należy użyć predefiniowanego słowa DALEJ... lub KONIEC.
4. Nadpisywanie zawartości rejestru I - ma on specjalne przeznaczenie i w trakcie wykonywania rozkazu, poza pierwszym taktem, nie można do niego wpisywać jakichkolwiek wartości.
5. Umieszczanie mikrosygnałów w nieodpowiednim takcie. Aby pobrać wartość z magistrali, w tym samym takcie należy ją tam umieścić. W danym takcie na magistralę można przesłać wartość tylko z jednego rejestru.
6. Nieprawdziwe, nieuprawnione wstępne założenia co do wartości danego rejestru np., że licznik zawiera wartość 1 - nie można robić takich założeń.

Artykuł ten stanowi, szczególnie dla studentów, dobre narzędzie do sprawdzenia przygotowania wstępnego do zajęć - na podstawie spisu wiedzy teoretycznej, potrzebnej do realizacji zadania tworzenia rozkazów. Artykuł ten jest także zbiorem materiału nie tylko pomocnego przy realizacji otrzymanych zadań i rozwiązywaniu potencjalnych problemów przez studentów, ale także, przy odpowiednim opanowaniu zawartych tu wskazówek, pozwala tych problemów uniknąć.

Literatura

1. M. Chłopek, R. Tutajewicz, *Wykłady z Podstaw Informatyki profesora Stefana Węgrzyna*, Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 2062. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997.
2. K. Grochla, G. Hryń, S. Iwaszenko, P. Kasprzyk, J. Kubica, M. Widera, T. Wróbel, *Wykłady z podstaw Informatyki profesora Stefana Węgrzyna*, Skrypt uczelniany Politechniki Śląskiej nr 2321. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2003.
3. A. Momot, R. Tutajewicz, *Maszyna W - jak zaprojektować prosty rozkaz*, MINUT 2019 (1), s. 24-35.
4. A. Momot, *Projektowanie rozkazów dla maszyny W - konspekt ćwiczeń laboratoryjnych*, MINUT 2020 (2), s. 1-11.
5. S. Węgrzyn, *Podstawy informatyki*, PWN, Warszawa, 1982.