1 Modifikovani Butov algoritam

Modifikovani Butov algoritam minimizuje broj aritmetičkih operacija prilikom množenja označenih brojeva. Modifikacija garantuje da će u najgorem slučaju biti potrebno najviše $\frac{n}{2}$ sabiranja ili oduzimanja, gde je n broj bitova u množiocu.

1.1 Implementacija pomoću Butovog kodiranog množioca

Posmatrajmo primer $-28 \cdot 111$, gde brojeve treba predstaviti binarno sa 8 cifara.

1.1.1 Zapis brojeva

Množenik se zapisuje kao broj dužine 16 bitova u potpunom komplementu.
U primeru koji posmatramo množenik je -28:
$(-28)_{10} = -32 + 4 = (100100)^6_{pk} = (11111111\ 11100100)^{16}_{pk}$

Množilac se prvo zapisuje kao broj dužine 8 bitova u potpunom komplementu, a zatim se formira *Butov kodirani množilac*.
U primeru koji posmatramo množilac je 111:
$(111)_{10} = 64 + 32 + 8 + 4 + 2 + 1 = (1101111)_2 = (01101111)^8_{pk}$

1.1.2 Formiranje Butovog kodiranog množioca

Ideja je uočiti uzastopne nizove jedinica u množiocu. Početak serije jedinica treba obeležiti sa -1, a kraj serije (prvu pojavu nule) sa $+1$. Na svim ostalim pozicijama treba upisati nule.

U posmatranom primeru, kodirani množilac je oblika:

0	1	1	0	1	1	1	1
+1	0	-1	+1	0	0	0	-1

Ovakav zapis množioca preko -1, 0 i 1 zovemo *Butov kodirani množilac.*[1] Pojava -1 u kodiranom množiocu znači da se radi oduzimanje (dvobitna kombinacija u originalnom množiocu je 10), a +1 da se radi sabiranje (dvobitna kombinacija u originalnom množiocu je 01).

1.1.3 Izdvajanje parova i računanje vrednosti

Ako sa

$$a_7a_6a_5a_4a_3a_2a_1a_0$$

obeležimo kodirani množilac, parove izdvajamo zdesna ulevo počevši od pozicije najmanje težine:

$$(a_1, a_0),\ (a_3, a_2),\ (a_5, a_4) \text{ i } (a_7, a_6)$$

Parovi se formiraju od vrednosti -1, 0 ili $+1$ i ima ih ukupno 7: (-1, 0), (-1, 1), (0, -1), (0, 0), (0, +1), (+1, -1) i (+1, 0) (parovi (+1, +1) i (-1, -1) se nikada ne pojavljuju).

Za kodirani množilac u posmatranom primeru +1 0 -1 +1 0 0 0 -1 parovi su (broj $k \in [0, \frac{n}{2} - 1]$ predstavlja redni broj para):

k	(a_{2k+1}, a_{2k})
0	$(a_1, a_0) = (0, -1)$
1	$(a_3, a_2) = (0, 0)$
2	$(a_5, a_4) = (-1, +1)$
3	$(a_8, a_7) = (+1, 0)$

Svakom paru sada možemo pridružiti odgovarajuću vrednost po pravilu:

$$\text{vrednost}((a_{2k+1}, a_{2k})) = 2 * a_{2k+1} + a_{2k},\ \ k = 0, 1, 2, 3.$$

[1] Još neki primeri:
za broj 10011001 modifikovani oblik je $-10 + 10 - 10 + 1 - 1$.
za broj 00111000 modifikovani oblik je $0 + 100 - 1000$.
za broj 11010110 modifikovani oblik je $0 - 1 + 1 - 1 + 10 - 10$.
za broj 00011011 modifikovani oblik je $00 + 10 - 1 + 10 - 1$.

Proverom se dobija da su moguće vrednosti -2, -1, 0, 1 i 2.

Za posmatrani primer, vrednosti parova su:

k	(a_{2k+1}, a_{2k})	$v_k = 2 \cdot a_{2k+1} + a_{2k}$
0	$(a_1, a_0) = (0, -1)$	$2 \cdot 0 + (-1) = -1$
1	$(a_3, a_2) = (0, 0)$	$2 \cdot 0 + 0 = 0$
2	$(a_5, a_4) = (-1, +1)$	$2 \cdot (-1) + (+1) = -1$
3	$(a_8, a_7) = (+1, 0)$	$2 \cdot (+1) + 0 = 2$

1.1.4 Pomeranje množenika i računanje međuproizvoda

Za svaku vrednost broja k (k=0,1,2,3) prvo treba pomeriti množenik za $2k$ bita ulevo, a zatim tako dobijeni binaran broj treba pomnožiti vrednošću v_k para (a_{2k+1}, a_k). Pritom važi:

1. Ako je vrednost para $v_k = 2$, množenje se svodi na pomeranje množenika za jednu poziciju ulevo.
2. Ako je vrednost para $v_k = 1$, množenik se ne menja.
3. Ako je vrednost para $v_k = 0$, rezultat je 0.
4. Ako je vrednost para $v_k = -1$, množenje se svodi na komplementiranje i dodavanje jedinice na poziciju najmanje težine.
5. Ako je vrednost para $v_k = -2$, množenje se svodi na pomeranje množenika za jednu poziciju ulevo, a zatim na komplementiranje tako dobijenog rezultata i dodavanje jedinice na poziciju najmanje težine. Isti rezultat će se dobiti i ako se promeni redosled radnji komplementiranja i pomeranja.

Množenik koji posmatramo u primeru je 1111111111100100.

k	v_k	množenik pomeran za $2k$ mesta ulevo	pomeren množenik pomnožen vrednošću para
0	-1	11111111 11100100	00000000 00011100
1	0	11111111 10010000	00000000 00000000
2	-1	11111110 01000000	00000001 11000000
3	2	11111001 00000000	11110010 00000000

1.1.5 Konačan proizvod

Konačan proizvod se dobija sabiranjem svih međuproizvoda. Sabiranje se izvodi po pravilima koja važe za brojeve u potpunom komplementu pa se eventualni prenosi zanemaruju.

k	v_k	množenik pomeran za $2k$ mesta ulevo	pomeren množenik pomnožen vrednošću para
0	-1	11111111 11100100	00000000 00011100
1	0	11111111 10010000	00000000 00000000
2	-1	11111110 01000000	00000001 11000000
3	2	11111001 00000000	11110010 00000000
			11110011 11011100

Proizvod je 11110011 11011100. Ostaje odrediti još njegovu dekadnu vrednost. Na pozciji najveće težine je 1 što znači da je broj negativan i da vrednost dobijamo komplementiranjem bitova i dodavanjem jedinice na poziciju najmanje težine:
$(1111001111011100)_{pk} = -(0000110000100100)_2 = -(2^{11} + 2^{10} + 2^5 + 2^2) = -3108$

Konačan rezultat je: -3108.

1.2 Implementacija pomoću trobitne kombinacije u množiocu

U implementaciji modifikovanog Butovog algoritma određivanje Butovog kodiranog množioca i vrednosti njegovih parova se spaja u jedan korak na osnovu trobitne kombinacije u množiocu.

Upotreba trobitne kombinacije podrazumeva postupak sličan osnovnom Butovom algoritmu. U tabeli je dat pregled svih trobitnih kombinacija bitova mnozioca i njima odgovarajući Butovi parovi i njihove vrednosti.
Ako sa M označimo množenik, poslednja kolona tabele sadrži opis akcije koja se vrši za datu trobitnu kombinaciju: na sadržaj registra A dodaje se vrednost $v_k \cdot M$.

Bitovi množioca $2k+1, 2k, 2k-1$	Butov par a_{2k+1}, a_{2k}	Vrednost para v_k	Akcija $v_k \cdot M$
000	$0, 0$	0	$0 \cdot M$
001	$0, +1$	$+1$	$+1 \cdot M$
010	$+1, -1$	$+1$	$+1 \cdot M$
011	$+1, 0$	$+2$	$+2 \cdot M$
100	$-1, 0$	-2	$-2 \cdot M$
101	$-1, +1$	-1	$-1 \cdot M$
110	$0, -1$	-1	$-1 \cdot M$
111	$0, 0$	0	$0 \cdot M$

Primetiti da komplementarnim trobitnim kombinacijama odgovaraju komplementarne akcije (npr. kombinaciji 001 odgovara akcija $+1 \cdot M$, dok komplementarnoj kombinaciji 110 odgovara komplementarna akcija $-1 \cdot M$).

Prilikom zapisivanja množenika i množioca broj bitova za zapis treba da bude paran i oba broja treba predstaviti jednakom brojem bitova.
Pritom, treba voditi računa da odabrana dužina zapisa omogućuje korektno pomeranje za jedno mesto ulevo zapisa množenika (prilikom množenja sa 2 ili -2), što podrazumeva da znak množenika ostane nepromenjen nakon pomeranja.

Za implementaciju algoritma potrebni su registri M, A, P odgovarajuće dužine n, jednobitni registar P_{-1} i jedan brojač. U M se upisuje množenik, u P množilac, dok su registri A i P_{-1} inicijalizovani nulom.
Algoritam ima $n/2$ koraka, pa se brojač inicijalizuje na $n/2$.
U svakom koraku se na osnovu trobitne kombinacije $P_1P_0P_{-1}$ množioca određuje koja se akcija vrši, nakon čega se radi aritmetičko pomeranje za dva mesta udesno sadržaja registara A, P i P_{-1} koji se posmatraju kao jedna reč. Pritom se brojač smanjuje za 1. Postupak se završava kada brojač dostigne 0.
Rezultat na kraju očitavamo iz registara A i P.

Posmatrajmo primer $-28 \cdot 111$.

Množenik M je -28:
$M = (-28)_{10} = -32 + 4 = (100100)^6_{pk}$

Množilac P je 111:
$P = (111)_{10} = 64 + 32 + 8 + 4 + 2 + 1 = (01101111)^8_{pk}$

Minimalna dužina za zapis oba broja je 8 i ona omogućuje korektno pomeranje zapisa množenika ulevo za jedno mesto $\Rightarrow M = (11100100)^8_{pk}$

Kodirani množilac je oblika: +1 0 -1 +1 0 0 0 -1.
Butovi parovi su, redom: $(0, -1)$, $(0, 0)$, $(-1, +1)$ i $(+1, 0)$, a njihove vrednosti v_k, redom: -1, 0, -1 i $+2$.

k	(a_{2k+1}, a_{2k})	$v_k = 2 \cdot a_{2k+1} + a_{2k}$
0	$(0, -1)$	$2 \cdot 0 + (-1) = -1$
1	$(0, 0)$	$2 \cdot 0 + 0 = 0$
2	$(-1, +1)$	$2 \cdot (-1) + (+1) = -1$
3	$(+1, 0)$	$2 \cdot (+1) + 0 = 2$

Postupak je dat u sledećoj tabeli:

brojac	A	P	P_{-1}	
4	00000000	01101111	0	inicijalizacija
	00011100			$P_1P_0P_{-1} = 110 \Rightarrow$ Butov par je $(0, -1)$ pa je akcija $A = A + (-1) \cdot M$
3	00000111	00011011	1	APP_{-1} pomeramo udesno za dva mesta
				$P_1P_0P_{-1} = 111 \Rightarrow$ Butov par je $(0, 0)$ pa nema akcije ($A = A + 0 \cdot M$)
2	00000001	11000110	1	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
	00011101			$P_1P_0P_{-1} = 101 \Rightarrow$ Butov par je $(-1, +1)$ pa je akcija $A = A + (-1) \cdot M$
1	00000111	01110001	1	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
	11001111			$P_1P_0P_{-1} = 011 \Rightarrow$ Butov par je $(+1, 0)$ pa je akcija $A = A + (+2) \cdot M$
0	11110011	11011100	0	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)

U postupku se koriste sledeći proizvodi $v_k \cdot M$:
$(-1) \cdot M = (00011100)_2$
$(+2) \cdot M = (11001000)_2$

rezultat je:
$AP = (1111\ 0011\ 1101\ 1100)^{16}_{pk} = -3108$ (na osnovu ranijeg računa)

1.3 Zadaci za vežbu

1. Izračunati $-6 \cdot 118$ koristeći modifikovani Butov algoritam sa kodiranim množiocem. Brojeve predstaviti sa 8 bitova i rezultat prevesti u dekadni brojevni sistem.

   množenik:
   $-6 = -8 + 2 = (1010)_{pk} = (11111111\ 11111010)^{16}_{pk}$

   množilac:
   $118 = (1110110)_2 = (01110110)^{8}_{pk}$

   Butov kodirani množilac:

0	1	1	1	0	1	1	0
+1	0	0	-1	+1	0	-1	0

k	par	v_k	množenik << 2k	(množenik << 2k)$\cdot v_k$
0	(-1,0)	-2	1111111111111010	komplement: 0000000000000110
				pomeranje ulevo: 0000000000001100
1	(+1,0)	2	1111111111101000	pomeranje ulevo: 1111111111010000
2	(0,-1)	-1	1111111110100000	komplement: 0000000001100000
3	(+1,0)	2	1111111010000000	pomeranje ulevo: 1111110100000000
				konačan zbir: **1111110100111100**

   konačan rezultat:
   $(1111110100111100)_{pk} = -(0000001011000100)_2 = -(2^9 + 2^7 + 2^6 + 2^2) = -708$

2. Izračunati $13 \cdot (-6)$ koristeći modifikovani Butov algoritam sa trobitnom kombinacijom množioca. Brojeve predstaviti minimalnim mogućim brojem bitova i rezultat prevesti u dekadni brojevni sistem.

   množenik: $M = (13)_{10} = (01101)^5_{pk}$
   množilac: $P = (-6)_{10} = -8 + 2 = (1010)^4_{pk}$

   Minimalna dužina za zapis oba broja je 6 i ona omogućuje korektno pomeranje zapisa množenika ulevo za jedno mesto pa imamo:
   $M = (001101)^6_{pk}$, $P = (111010)^6_{pk}$

   Kodirani množilac je oblika: 0 0 -1 +1 -1 0.
   Butovi parovi i njihove vrednosti su, redom:

k	(a_{2k+1}, a_{2k})	$v_k = 2 \cdot a_{2k+1} + a_{2k}$
0	$(-1, 0)$	-2
1	$(-1, +1)$	-1
2	$(0, 0)$	0

Postupak je dat u sledećoj tabeli:

brojac	A	P	P_{-1}	
3	000000	1110$\underline{10}$	$\underline{0}$	inicijalizacija
	100110			$P_1P_0P_{-1} = 100 \Rightarrow$ Butov par je $(-1, 0)$ pa je akcija $A = A + (-2) \cdot M$
2	111001	1011$\underline{10}$	$\underline{1}$	APP_{-1} pomeramo udesno za dva mesta
	101100			$P_1P_0P_{-1} = 101 \Rightarrow$ Butov par je $(-1, +1)$ pa je akcija $(A = A + (-1) \cdot M)$
1	111011	0010$\underline{11}$	$\underline{1}$	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
				$P_1P_0P_{-1} = 111 \Rightarrow$ Butov par je $(0, 0)$ pa nema akcije $(A = A + 0 \cdot M)$
0	111110	110010	1	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)

U postupku se koriste sledeći proizvodi $v_k \cdot M$:
$(+2) \cdot M = 011010$
$(-2) \cdot M = 100110$
$(-1) \cdot M = 110011$

rezultat je:
$AP = (111110\ 110010)^{12}_{pk} = (10110010)^{8}_{pk} = -2^7 + 2^5 + 2^4 + 2^1 = -78$

3. Izračunati $27 \cdot 18$ koristeći modifikovani Butov algoritam sa trobitnom kombinacijom množioca. Brojeve predstaviti minimalnim mogućim brojem bitova i rezultat prevesti u dekadni brojevni sistem.

množenik: $M = (27)_{10} = (011011)^{6}_{pk}$
množilac: $P = (18)_{10} = (010010)^{6}_{pk}$

Oba broja se mogu zapisati u potpunom komplementu sa 6 cifara. Kako se pomeranje ulevo za jedno mesto zapisa množenika ne može isvesti korektno u dužini 6 zbog promene znaka (110110), brojeve ćemo zapisati sa 8 cifara:
$M = (00011011)^{8}_{pk}$, $P = (00010010)^{8}_{pk}$

Kodirani množilac je oblika: 0 0 +1 -1 0 +1 -1 0.
Butovi parovi i njihove vrednosti su, redom:

k	(a_{2k+1}, a_{2k})	$v_k = 2 \cdot a_{2k+1} + a_{2k}$
0	$(-1, 0)$	-2
1	$(0, +1)$	1
2	$(+1, -1)$	1
3	$(0, 0)$	0

Postupak je dat u sledećoj tabeli:

brojac	A	P	P_{-1}	
4	00000000	000100$\underline{10}$	$\underline{0}$	inicijalizacija
	11001010			$P_1P_0P_{-1} = 100 \Rightarrow$ Butov par je $(-1, 0)$ pa je akcija $A = A + (-2) \cdot M$
3	11110010	100001$\underline{00}$	$\underline{1}$	APP_{-1} pomeramo udesno za dva mesta
	00001101			$P_1P_0P_{-1} = 001 \Rightarrow$ Butov par je $(0, +1)$ pa je akcija $A = A + 1 \cdot M$
2	00000011	011000$\underline{01}$	$\underline{0}$	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
	00011110			$P_1P_0P_{-1} = 010 \Rightarrow$ Butov par je $(+1, -1)$ pa je akcija $A = A + 1 \cdot M$
1	00000111	100110$\underline{00}$	$\underline{0}$	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
				$P_1P_0P_{-1} = 000 \Rightarrow$ Butov par je $(0, 0)$ pa nema akcije $(A = A + 0 \cdot M)$
0	00000001	11100110	0	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)

U postupku se koriste sledeći proizvodi $v_k \cdot M$:
$(+2) \cdot M = 00110110$
$(-2) \cdot M = 11001010$

rezultat je:
$AP = (0000\ 0001\ 1110\ 0110)^{16}_{pk} = 2^8 + 2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^2 + 2^1 = 486$

4. Izračunati $91 \cdot (-101)$ koristeći modifikovani Butov algoritam na oba načina: sa kodiranim množiocem i sa trobitnom kombinacijom množioca. Brojeve predstaviti minimalnim mogućim brojem bitova i rezultat prevesti u dekadni brojevni sistem.

I način: pomoću kodiranog množioca

množenik: $91 = (01011011)^8_{pk} = (00000000\ 01011011)^{16}_{pk}$
množilac: $-101 = -128 + 16 + 8 + 2 + 1 = (10011011)^8_{pk}$

Butov kodirani množilac:

1	0	0	1	1	0	1	1
-1	0	+1	0	-1	+1	0	-1

k	par	v_k	množenik << 2k	(množenik << 2k)$\cdot v_k$
0	(0,-1)	-1	0000000001011011	**1111111110100101**
1	(-1,+1)	-1	0000000101101100	**1111111010010100**
2	(+1,0)	+2	0000010110110000	**0000101101100000**
3	(-1,0)	-2	0001011011000000	0010110110000000
				1101001010000000
				1101110000011001

konačan rezultat:
$(1101110000011001)_{pk} = -(0010001111100111)_2 = -(2^{13} + 2^9 + 2^8 + 2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^2 + 2^1 + 2^0) = -9191$

II način: pomoću trobitne kombinacije množioca

Kako je zapis množenika $M = (91)_{10} = (01011011)^8_{pk}$, ukoliko bude potrebe za pomeranjem zapisa za jedno mesto ulevo, doći će do promene znaka, pa je potrebna dužina 10:
$M = (0001011011)^{10}_{pk}$, $P = (-101)_{10} = (1110011011)^{10}_{pk}$

brojac	A	P	P_{-1}	
5	0000000000	$11100110\underline{11}$	$\underline{0}$	inicijalizacija
	1110100101			$P_1P_0P_{-1} = 110 \Rightarrow$ Butov par je $(0, -1)$, akcija je $A = A + (-1) \cdot M$
4	1111101001	$01111001\underline{10}$	$\underline{1}$	APP_{-1} pomeramo udesno za dva mesta
	1110001110			$P_1P_0P_{-1} = 101 \Rightarrow$ Butov par je $(-1, +1)$, akcija je $A = A + (-1) \cdot M$
3	1111100011	$10011110\underline{01}$	$\underline{1}$	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
	0010011001			$P_1P_0P_{-1} = 011 \Rightarrow$ Butov par je $(+1, 0)$, akcija je $A = A + 2 \cdot M$
2	0000100110	$01100111\underline{10}$	$\underline{0}$	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
	1101110000			$P_1P_0P_{-1} = 100 \Rightarrow$ Butov par je $(-1, 0)$, akcija je $A = A + (-2) \cdot M$
1	1111011100	$00011001\underline{11}$	$\underline{1}$	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
				$P_1P_0P_{-1} = 111 \Rightarrow$ Butov par je $(0, 0)$ i nema akcije
0	1111110111	0000011001	1	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)

U postupku se koriste sledeći proizvodi $v_k \cdot M$:
$(-1) \cdot M = 1110100101$
$(+2) \cdot M = 0010110110$
$(-2) \cdot M = 1101001010$

rezultat je: $AP = (1111\ 1101\ 1100\ 0001\ 1001)^{20}_{pk} = -9191$

5. Izračunati $(-51) \cdot (-102)$ koristeći modifikovani Butov algoritam na oba načina: sa kodiranim množiocem (*januar 2, 2017, grupa A*) i sa trobitnom kombinacijom množioca. Brojeve predstaviti minimalnim mogućim brojem bitova i rezultat prevesti u dekadni brojevni sistem.

I način: pomoću kodiranog množioca

množenik: $-51 = -64 + 8 + 4 + 1 = (1001101)_{pk}^{7} = (11001101)_{pk}^{8} = (11111111\ 11001101)_{pk}^{16}$
množilac: $-102 = -128 + 16 + 8 + 2 = (10011010)_{pk}^{8}$

Butov kodirani množilac:

1	0	0	1	1	0	1	0
-1	0	+1	0	-1	+1	-1	0

k	par	v_k	množenik << 2k	(množenik << 2k)$\cdot v_k$
0	(-1,0)	-2	1111111111001101	1111111110011010
				0000000001100110
1	(-1,+1)	-1	1111111100110100	**0000000011001100**
2	(+1,0)	+2	1111110011010000	**1111100110100000**
3	(-1,0)	-2	1111001101000000	1110011010000000
				0001100110000000
				0001010001010010

konačan rezultat:
$(0001010001010010)_{pk} = 2^{12} + 2^{10} + 2^{6} + 2^{4} + 2^{1} = 5202$

II način: pomoću trobitne kombinacije množioca

Kako je zapis množenika $M = -51 = (11001101)_{pk}^{8}$, ukoliko bude potrebe za pomeranjem zapisa za jedno mesto ulevo, znak se neće promeniti, pa je dužina 8 korektna.
$P = (-102)_{10} = (10011010)_{pk}^{8}$

brojac	A	P	P_{-1}	
4	00000000	$100110\underline{10}$	$\underline{0}$	inicijalizacija
	01100110			$P_1P_0P_{-1} = 100 \Rightarrow$ Butov par je $(-1, 0)$, akcija je $A = A + (-2) \cdot M$
3	00011001	$101001\underline{10}$	$\underline{1}$	APP_{-1} pomeramo udesno za dva mesta
	01001100			$P_1P_0P_{-1} = 101 \Rightarrow$ Butov par je $(-1, +1)$, akcija je $A = A + (-1) \cdot M$
2	00010011	$001010\underline{01}$	$\underline{1}$	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
	10101101			$P_1P_0P_{-1} = 011 \Rightarrow$ Butov par je $(+1, 0)$, akcija je $A = A + 2 \cdot M$
1	11101011	$010010\underline{10}$	$\underline{0}$	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)
	01010001			$P_1P_0P_{-1} = 100 \Rightarrow$ Butov par je $(-1, 0)$, akcija je $A = A + (-2) \cdot M$
0	00010100	01010010	1	APP_{-1} pomeramo udesno (2x)

U postupku se koriste sledeći proizvodi $v_k \cdot M$:
$(+2) \cdot M = 10011010$
$(-2) \cdot M = 01100101$
$(-1) \cdot M = 00110011$

rezultat je: $AP = (0001\ 0100\ 0101\ 0010)_{pk}^{16} = 5202$