

Modulasi Digital

Dr. Risanuri Hidayat

Outline

1. Pengertian Modulasi Digital

2. Jenis Modulasi Digital

- ASK
- FSK
- PSK
- QAM

Modulasi Digital

Modulasi digital merupakan proses penumpangan sinyal digital ke dalam sinyal pembawa.

Perbedaan mendasar antara modulasi analog dan digital terletak pada bentuk sinyal informasinya.

Jenis modulasi digital

- M-ary ASK
- M-ary FSK (BFSK)
- M-ary PSK (BPSK, QPSK, 8PSK)
- QAM

Amplitude Shift Keying (ASK)

Sinyal ASK merepresentasikan sinyal data biner dengan level amplitudo yang berbeda.

Untuk ASK sinyal transmisi dapat dituliskan sbb:

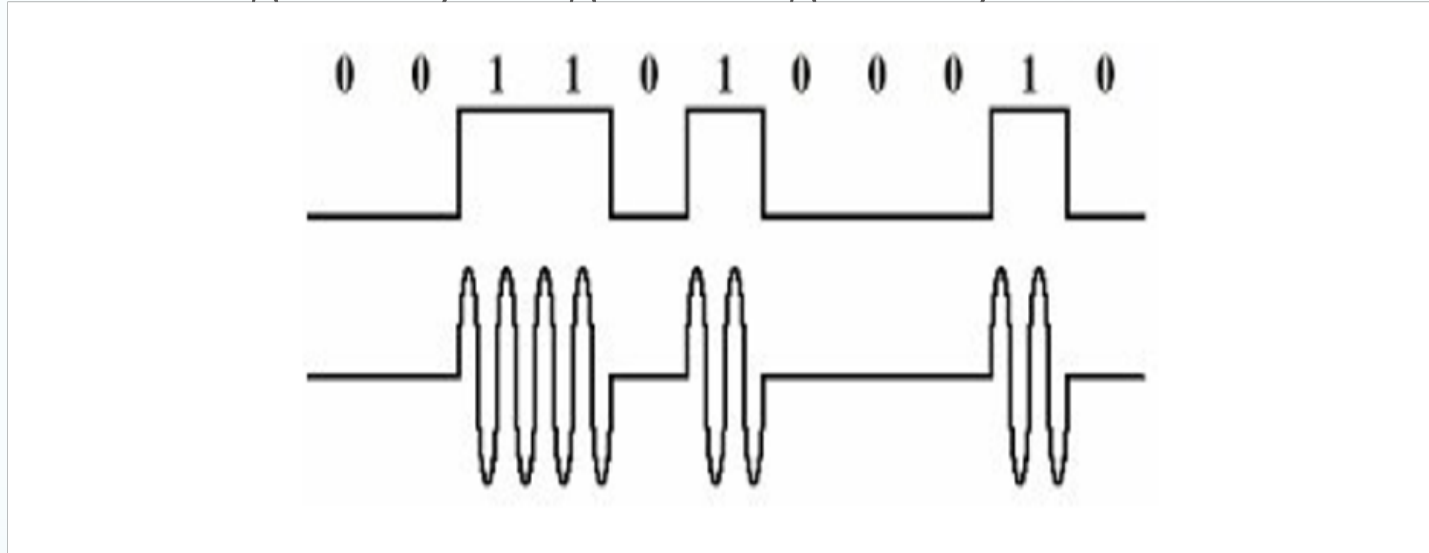
$$s_1(t) = \sqrt{\frac{4E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad s_2(t)$$

$$s(t) = \begin{cases} s_1(t) & \text{untuk simbol 1} \\ s_2(t) & \text{untuk simbol 0} \end{cases}$$

Sinyal yang ditransmisikan $s(t)$ dapat diekspresikan dalam bentuk

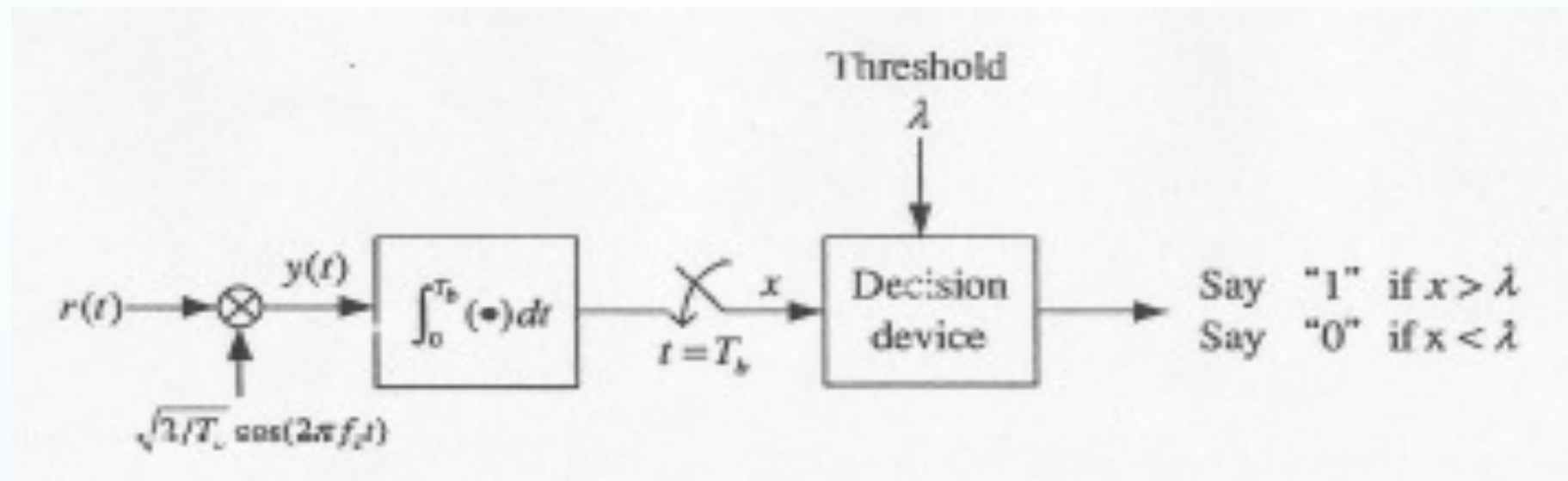
Amplitude Shift Keying (ASK)

Gambar hubungan sinyal digital dengan sinyal termodulasi ASK



Untuk sistem transmiter yang sederhana hanya terdiri atas oscilator yang mempunyai gerbang on off, maka dari itu ASK sering disebut sebagai on-off keying

Penerima ASK



$$y(t) = s(t) \times \sqrt{2/T_b} \cos(2\pi f_c t)$$

$$y(t) = \sqrt{\frac{8E_b}{T_b^2}} \cos^2(2\pi f_c t)$$

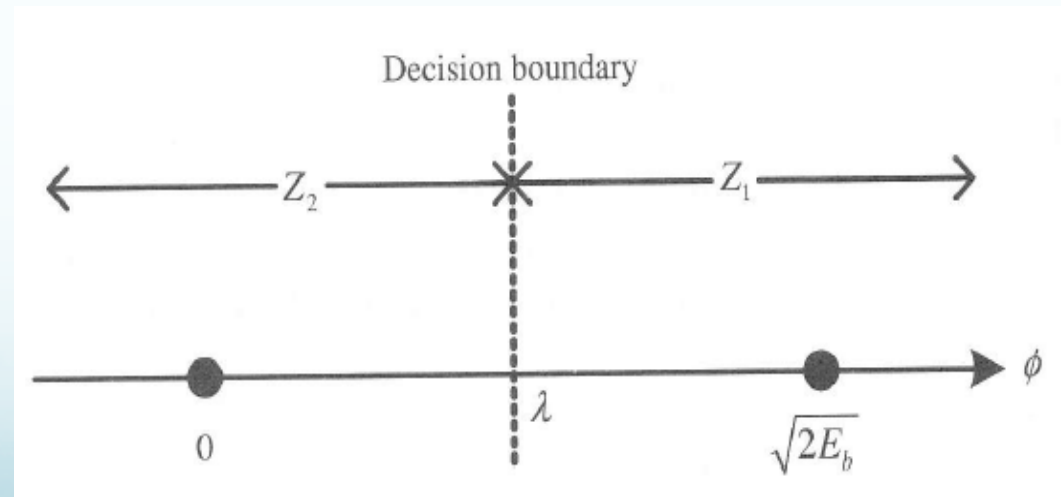
$$s(t) = \sqrt{\frac{4E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$$

$$x = \int_0^{T_b} \sqrt{\frac{4E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) dt$$

$$x = \sqrt{2E_b}$$

Signal Constellation ASK

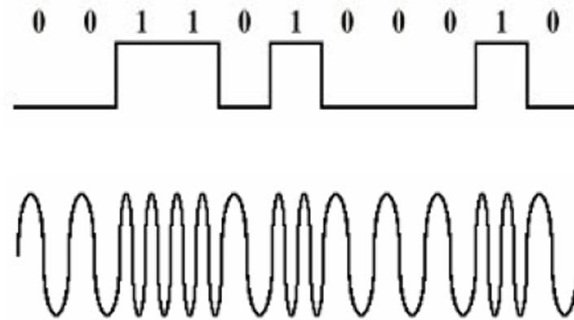
Interpretasi geometrik digunakan untuk merepresentasikan sinyal (contoh $\{s_1(t), s_2(t)\}$ untuk kasus biner) sebagai point dari signal space. Kumpulan dari semua kemungkinan sinyal point disebut signal constellation



Representasi geometris dari sinyal ASK biner

Frequency Shift Keying (FSK)

Dalam system BFSK (*Binary Frequency – shift Keying*), maka simbol 1 dan 0 ditransmisikan secara berbeda antara satu sama lain dalam satu atau dua buah sinyal sinusoidal yang berbeda besar frekuensi nya.

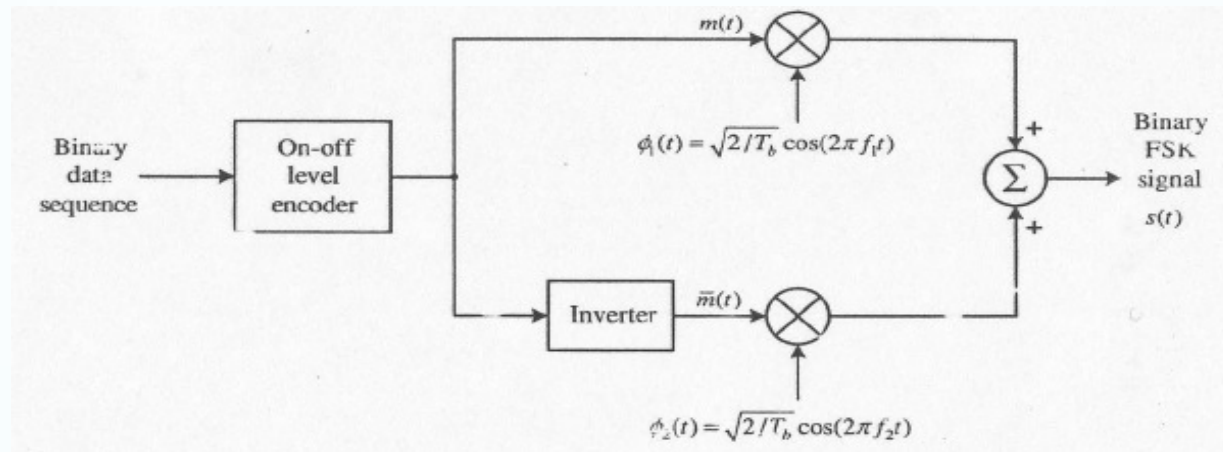


Sinyal sinusoid yang ditransmisikan memiliki persamaan sebagai berikut :

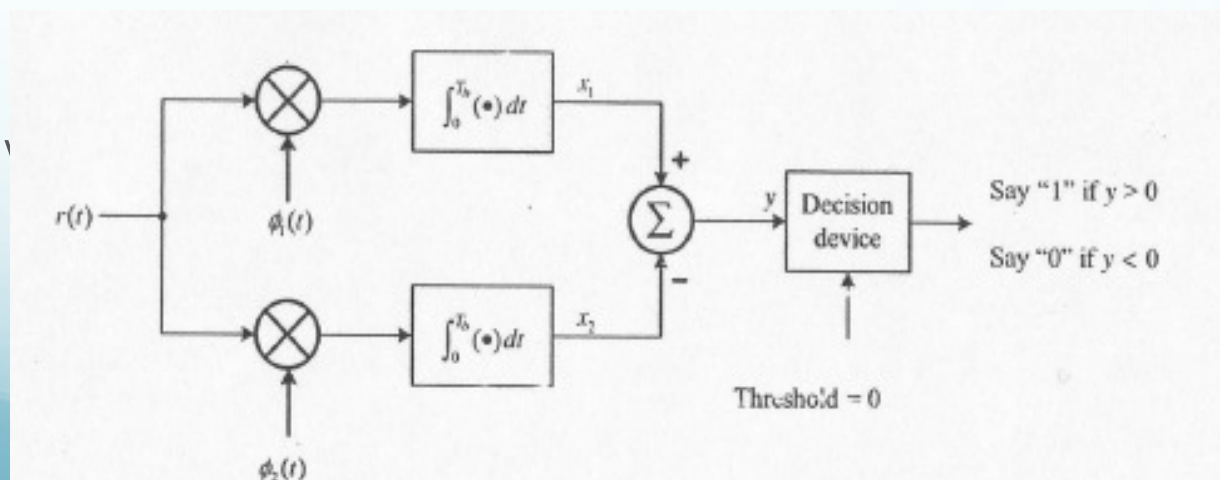
$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_1 t) \quad s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_2 t)$$

Frequency Shift Keying (FSK)

- Modulator FSK



- Receiver



Frequency Shift Keying (FSK)

Jika sinyal $s_1(t)$ (merekpresentasikan 1) telah dikirim, output x_1 dan x_2 dari korelator adalah sebagai berikut

$$x_1 = \int_0^{T_b} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_1 t) \sqrt{\frac{E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_1 t) dt = \sqrt{E_b}$$

$$x_2 = \int_0^{T_b} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_1 t) \sqrt{\frac{E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_2 t) dt = 0$$

Frequency Shift Keying (FSK)

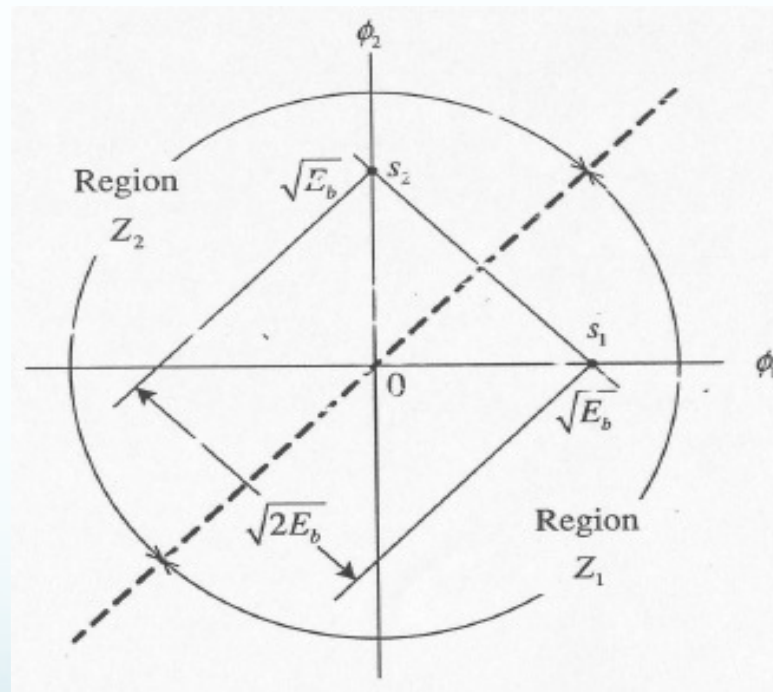
Disisi lain, jika sinyal $s_2(t)$ (merekpresentasikan 0) telah dikirimkan, output dari korelator dapat ditunjukkan sebagai berikut

$$x_1 = \int_0^{T_b} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_2 t) \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_1 t) dt = 0$$

$$x_2 = \int_0^{T_b} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_2 t) \sqrt{\frac{E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_2 t) dt = \sqrt{E_b}$$

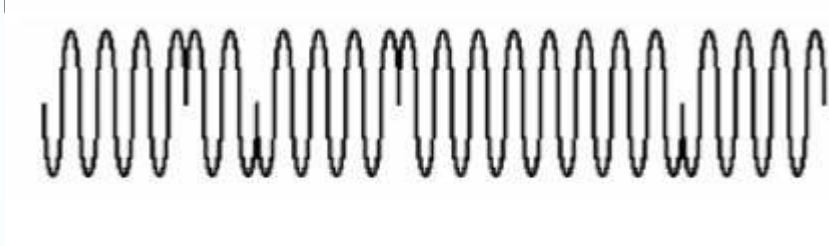
Diagram Signal Space FSK

Jarak antara dua titik sinyal biner FSK adalah $\sqrt{2E_b}$



Binary Phase Shift Keying (BPSK)

Dalam fase-biner sistem shift keying, digunakan sepasang sinyal $s_1(t)$ dan $s_2(t)$ untuk mewakili simbol biner dari 1 dan 0, yaitu masing-masing, sebagai berikut :

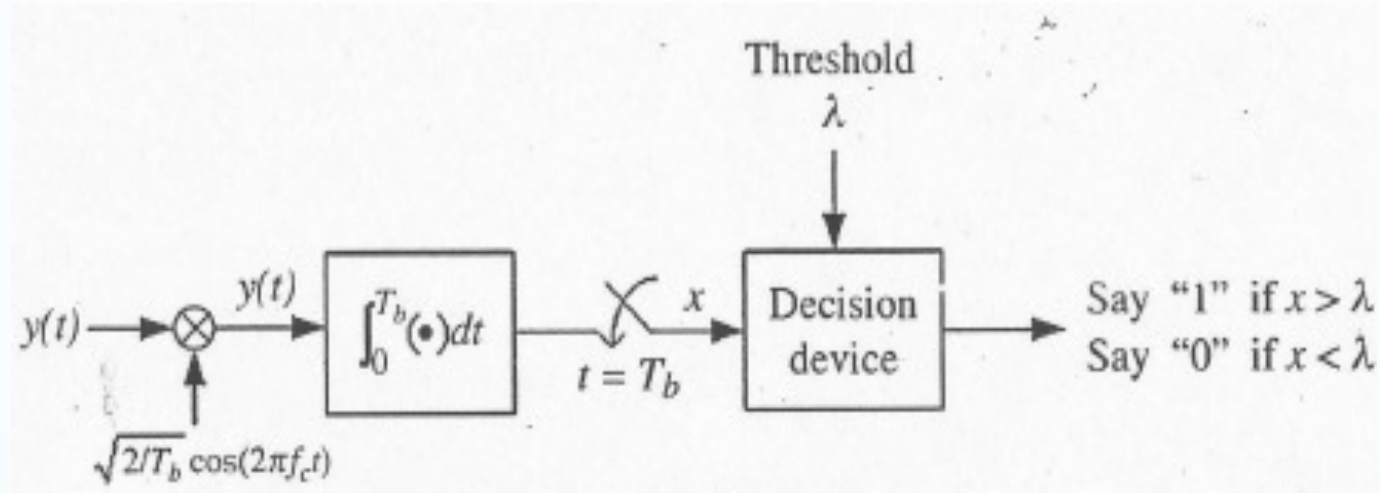


$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$$

Binary Phase Shift Keying (BPSK)

- Detektor Koheren untuk BPSK



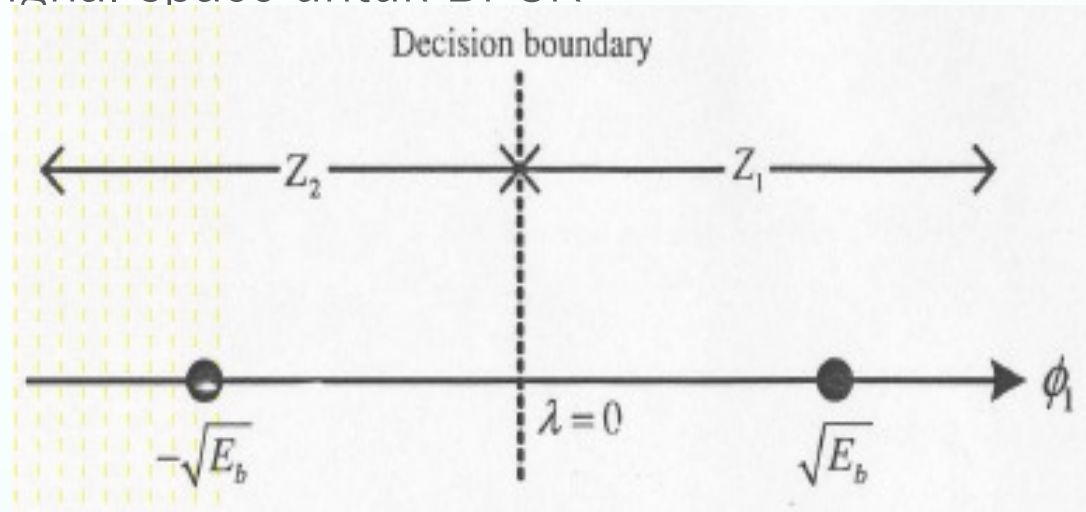
$$y(t) = s(t) \times \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$$

$$y(t) = \begin{cases} \frac{2\sqrt{E_b}}{T_b} \cos^2(2\pi f_c t) & \text{jika 1 dikirim} \\ -\frac{2\sqrt{E_b}}{T_b} \cos^2(2\pi f_c t) & \text{jika 0 dikirim} \end{cases}$$

$$y(t) = \begin{cases} +\sqrt{E_b} & \text{jika 1 dikirim} \\ -\sqrt{E_b} & \text{jika 0 dikirim} \end{cases}$$

Diagram signal-space BPSK

Diagram signal-space untuk BPSK

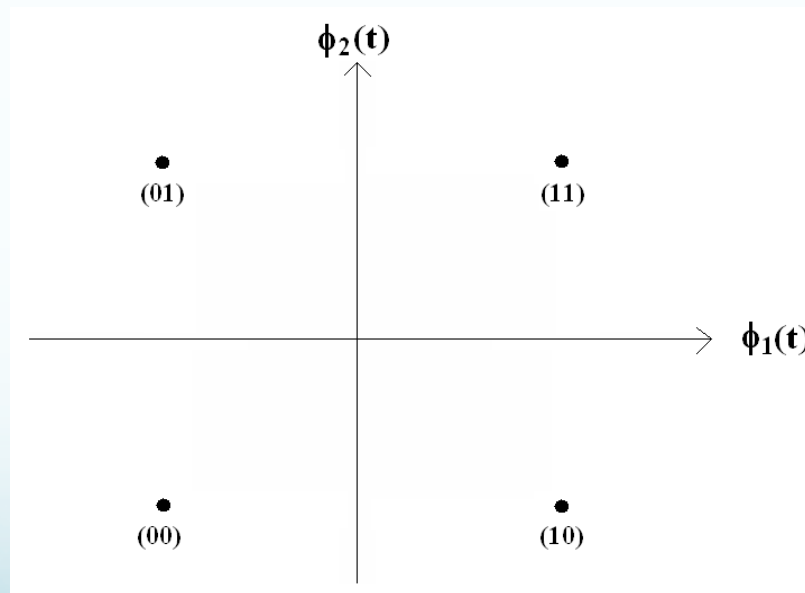


Untuk perwakilan geometris, sinyal yang ditransmisikan $s_1(t)$ dan $s_2(t)$ dapat dinyatakan dalam sebagai berikut:

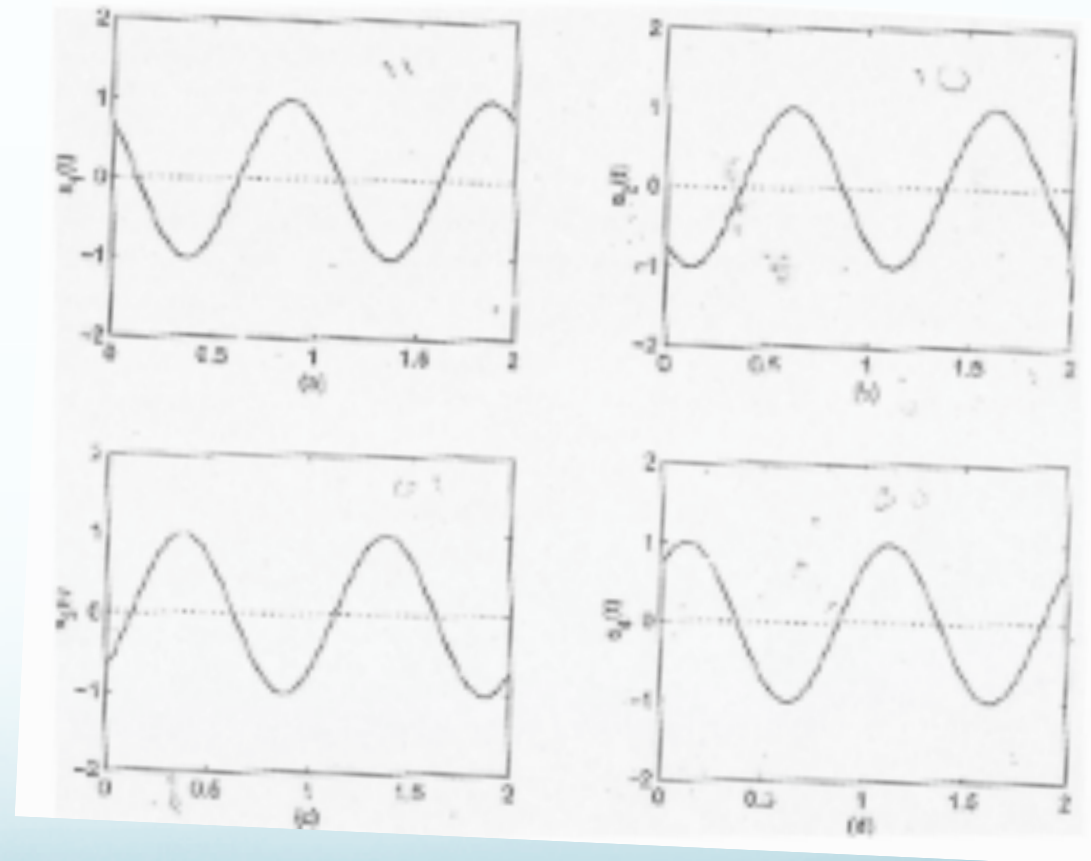
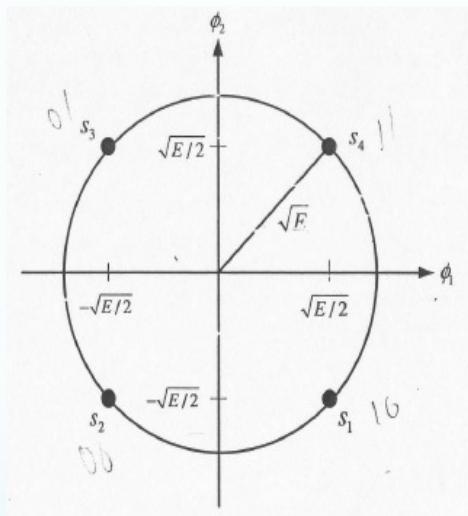
$$s_1(t) = \sqrt{E_b}\phi_1(t), \quad 0 \leq t \leq T_b$$
$$s_2(t) = -\sqrt{E_b}\phi_1(t), \quad 0 \leq t \leq T_b$$

QPSK

Pada sistem QPSK terdapat empat vector yaitu , yang mana dapat direpresentasikan sebagai poin sinyal pada signal – space diagram seperti pada gambar berikut:



Constellation Diagram and Sinus Waves



Jabarkan

$$s(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} r \cos(2\pi f_c t - \theta)$$

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Sinyal yang ditransmisikan setiap waktu t adalah

$$s(t) = a_1 \cos(2\pi f_c t) + a_2 \sin(2\pi f_c t)$$

m1 m2	a1 a2
0 x	-1 x
1 x	+1 x
x 0	x -1
x 1	x +1

PEMETAAN (M_1, M_2) KE (A_1, A_2)

(m_1, m_2)	(a_1, a_2)
(1,1)	$(\sqrt{E/2}, \sqrt{E/2})$
(1,0)	$(\sqrt{E/2}, -\sqrt{E/2})$
(0,1)	$(-\sqrt{E/2}, \sqrt{E/2})$
(0,0)	$(-\sqrt{E/2}, -\sqrt{E/2})$

m1 m2	a1 a2
0 0	-1 -1
0 1	-1 +1
1 1	+1 +1
1 0	+1 -1

m	a
0	-1
1	+1

KARAKTERISTIK SIGNAL SPACE DARI QPSK

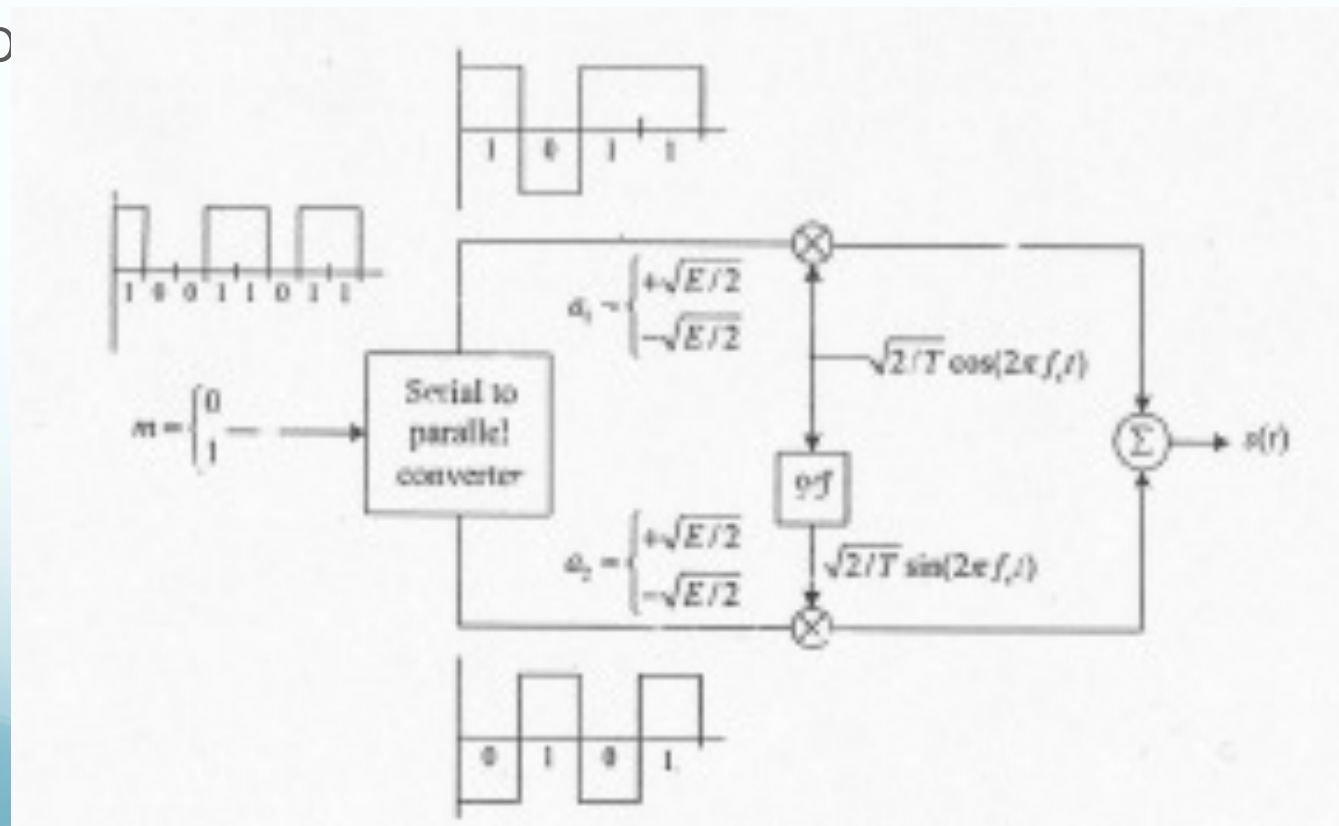
digit masukan (m_1m_2)	fase	(a_1, a_2)	$s_i(t)$
10	$7\pi/4$	$(+\sqrt{E/2}, -\sqrt{E/2})$	$\sqrt{2E/T} \cos(2\pi f_c t + 7\pi/4)$
00	$5\pi/4$	$(-\sqrt{E/2}, -\sqrt{E/2})$	$\sqrt{2E/T} \cos(2\pi f_c t + 5\pi/4)$
01	$3\pi/4$	$(-\sqrt{E/2}, +\sqrt{E/2})$	$\sqrt{2E/T} \cos(2\pi f_c t + 3\pi/4)$
11	$\pi/4$	$(+\sqrt{E/2}, +\sqrt{E/2})$	$\sqrt{2E/T} \cos(2\pi f_c t + \pi/4)$

Pembangkitan QPSK

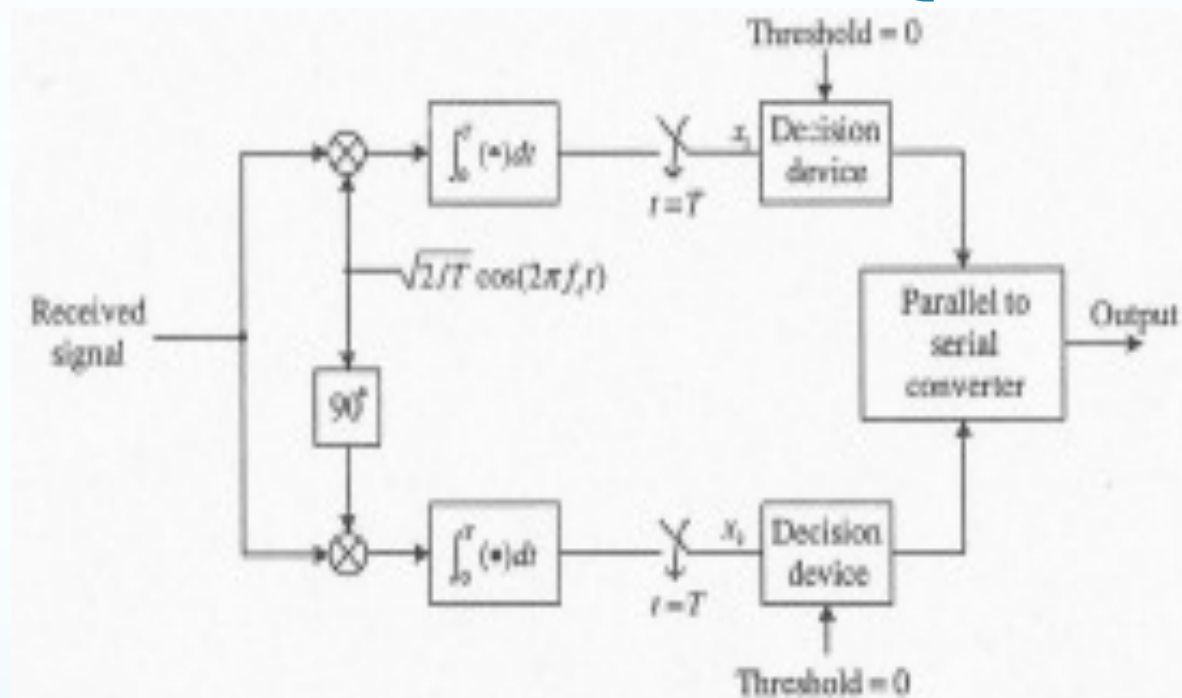
- Tampak bahwa sudut phase dapat dibangkitkan dari 2 oscilator
 - Osc gelombang Cosinus
 - Osc gelombang Sinus
- Kedua oscilator tsb diperkuat/dikalikan dengan a_1 dan a_2 kemudian dijumlahkan
- Lihat persamaan

Pembangkitan QPSK

QPSK → dua bit ditransmisikan secara simultan dalam satu selang waktu interval T . Tanpa meningkatkan lebar bidang transmisi, pesan bit dapat



Demodulator QPSK

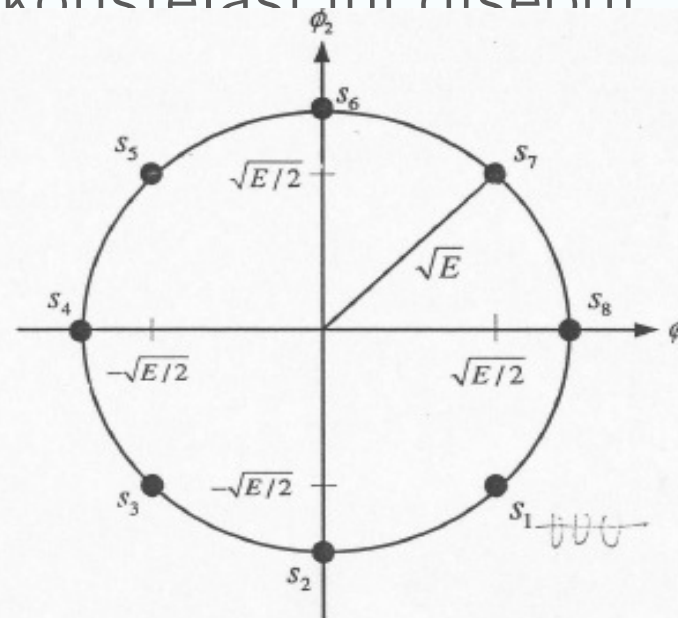


$$x_1 = \int_0^T \left(a_1 \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t) + a_2 \sqrt{\frac{2}{T}} \sin(2\pi f_c t) \right) \times \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t) dt \quad x_1 = a_1$$

$$x_2 = \int_0^T \left(a_1 \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t) + a_2 \sqrt{\frac{2}{T}} \sin(2\pi f_c t) \right) \times \sqrt{\frac{2}{T}} \sin(2\pi f_c t) dt = a_2$$

8PSK

Sangat mungkin untuk meningkatkan pesat bit transmisi dengan meningkatkan jumlah sinyal pada kontelasi sinyal. Sebagai contoh, kita dapat menggandakan sinyal QPSK, menghasilkan sinyal dalam 8 poin seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah. Sinyal konstelasi ini disebut 8PSK dimana dapat mer setiap sinyal interval tan bidang (*bandwidth*) trans

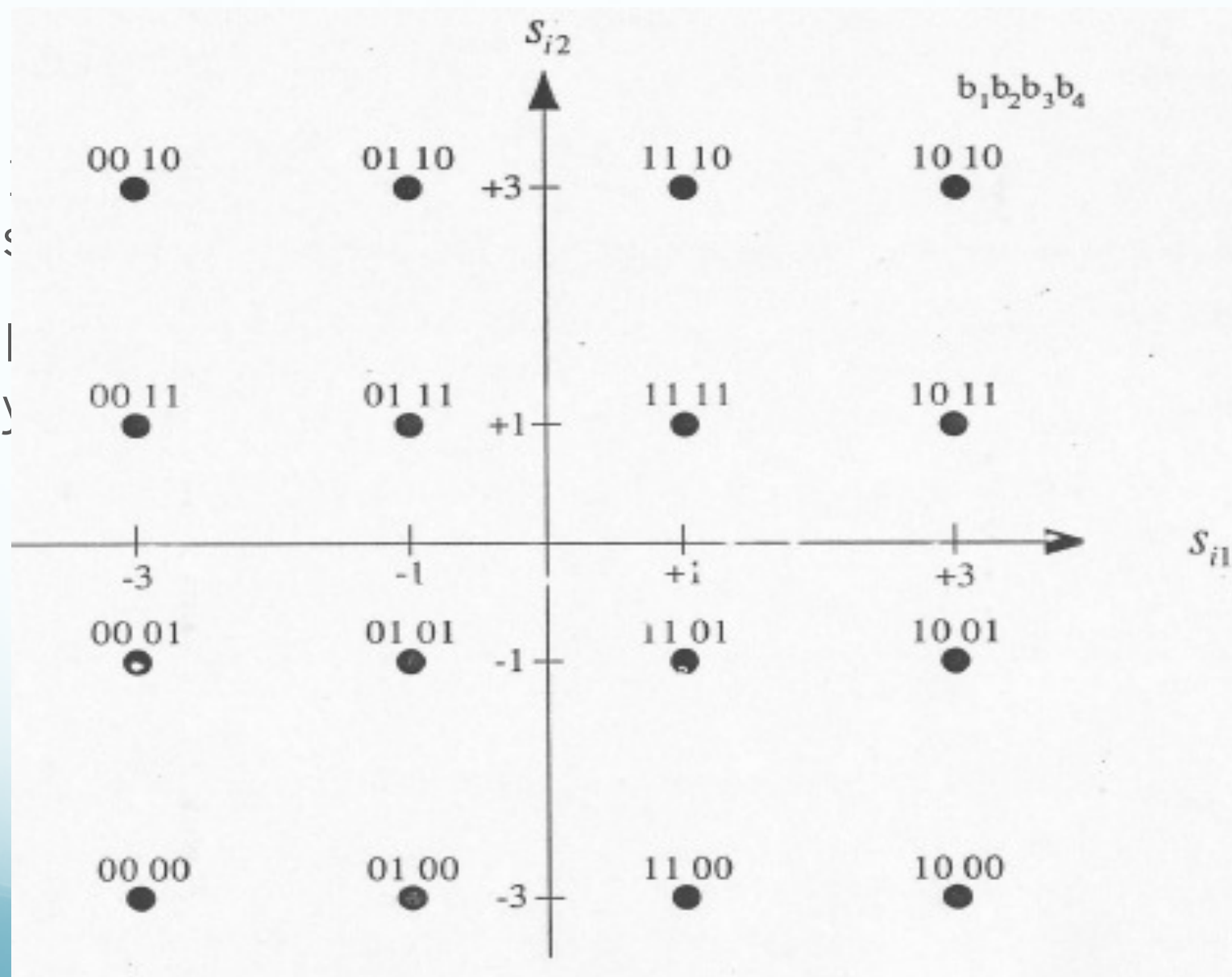


Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Sebuah sinyal M-ary QAM dapat diekspresikan sebagai

$$s_i(t) = s_{i1}\phi_1(t) + s_{i2}\phi_2(t) \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, M$$

Dimana $\phi_1(t)$ dan $\phi_2(t)$ ortogonal, sehingga dua pesan yang terpisah dapat dimodulasi oleh amplitudo dari sinyal $\phi_1(t)$ dan $\phi_2(t)$. Nilai s_{i1} dan s_{i2} dapat berupa angka dari sebuah set angka tertentu. Sebagai contoh modulasi 16-QAM, s_{i1} dan s_{i2} dapat berupa angka dari $\{-3, -1, +1, +3\}$.



Pemetaan 16-QAM

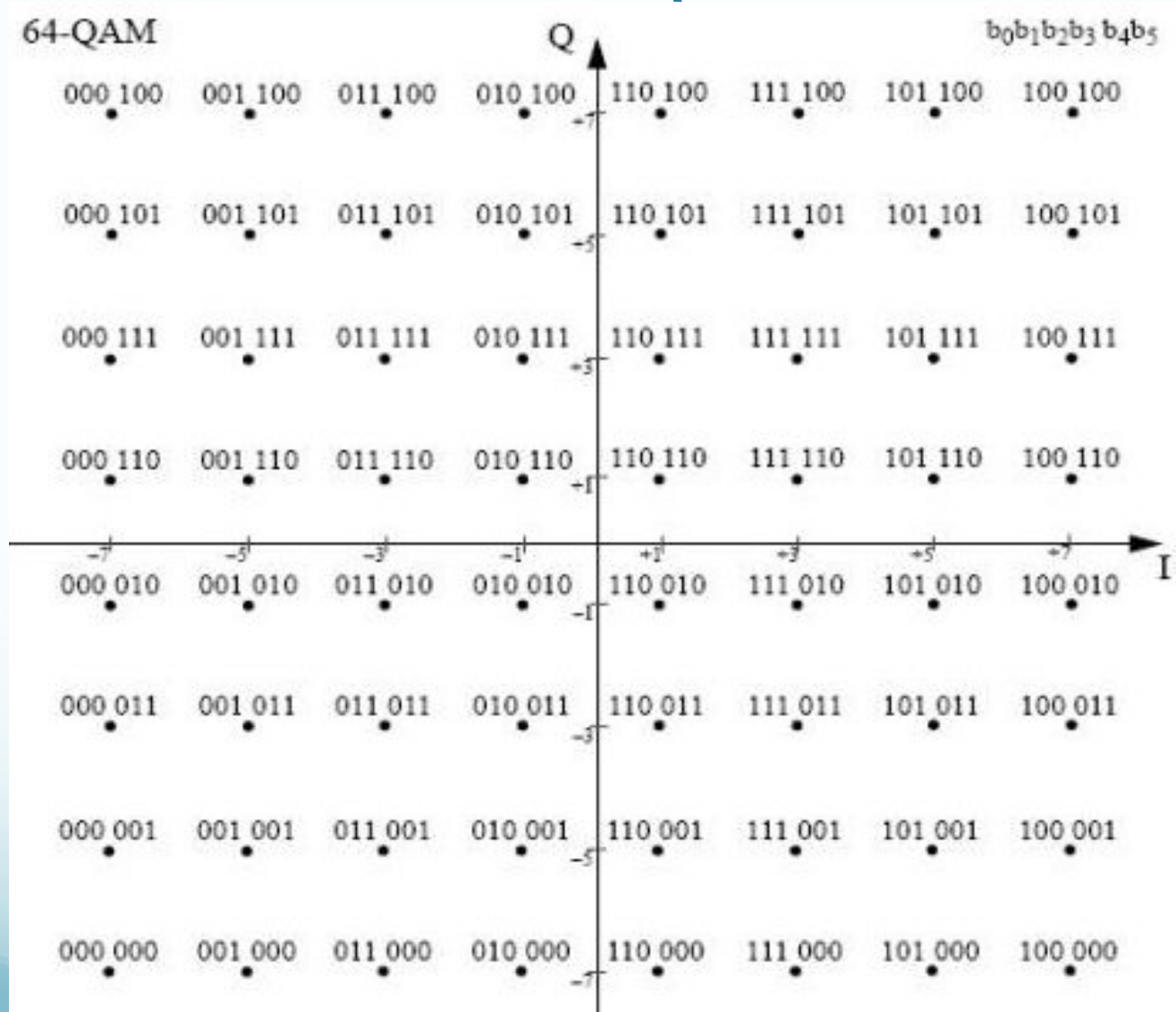
Sinyal yang ditransmisikan setiap waktu t adalah

$$s(t) = \text{Re } \cos(2\omega_c t) + \text{Im } \sin(2\omega_c t)$$

d1	d2	d3	d4	Re	Im
0	0	x	x	-3	x
0	1	x	x	-1	x
1	1	x	x	+1	x
1	0	x	x	+3	x
x	x	0	0	x	-3
x	x	0	1	x	-1
x	x	1	1	x	+1
x	x	1	0	x	+3

m	a
0 0	-3
0 1	-1
1 1	+1
1 0	+3

64 - QAM

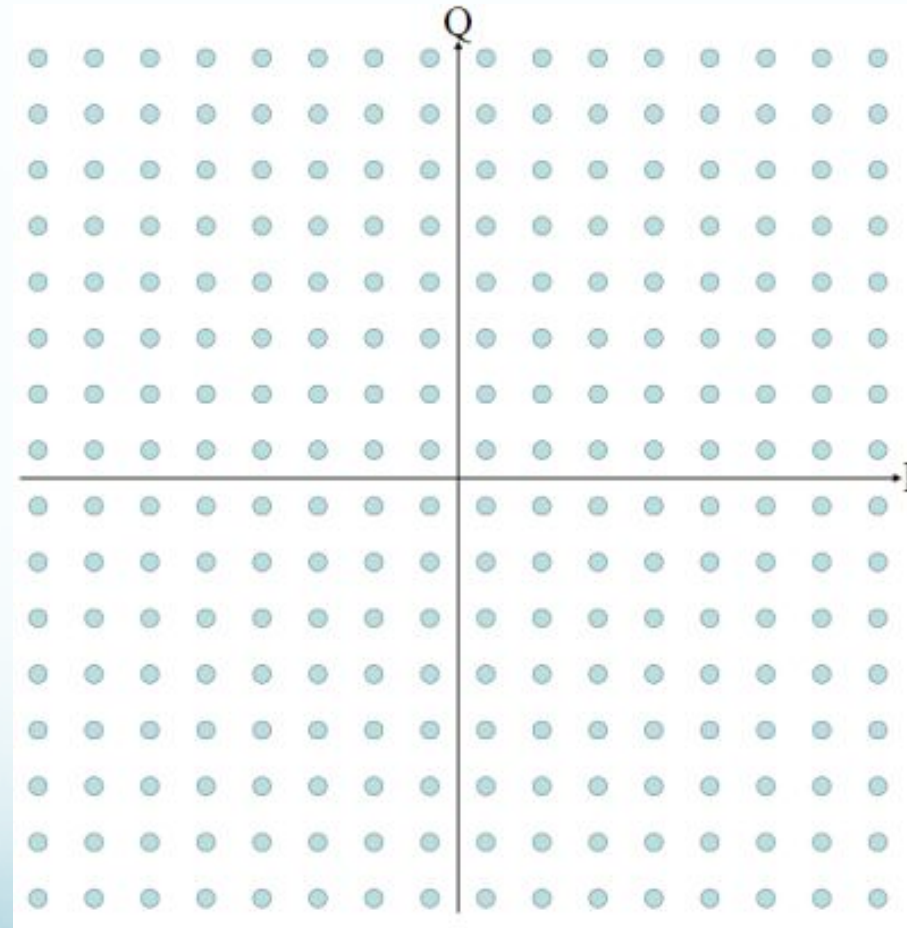


Pemetaan 64-QAM

$$s(t) = \text{Re } \text{Cos}(2\omega_c t) + \text{Im } \text{Sin}(2\omega_c t)$$

[illegible]

256 QAM



Pemetaan 64-QAM

$$s(t) = \text{Re } \text{Cos}(2\omega_c t) + \text{Im } \text{Sin}(2\omega_c t)$$

[illegible]

QAM bits per symbol

- The advantage of using QAM is that it is a higher order form of modulation and as a result it is able to carry more bits of information per symbol. By selecting a higher order format of QAM, the data rate of a link can be increased.
- The table below gives a summary of the bit rates of different forms of QAM and PSK.

Modulation	Bits per symbol	Symbol Rate
BPSK	1	1 x bit rate
QPSK	2	1/2 bit rate
8PSK	3	1/3 bit rate
16QAM	4	1/4 bit rate
32QAM	5	1/5 bit rate
64QAM	6	1/6 bit rate

QAM noise margin

- While higher order modulation rates are able to offer much faster data rates and higher levels of spectral efficiency for the radio communications system, they are considerably less resilient to noise and interference.
- As a result of this, many radio communications systems now use dynamic adaptive modulation techniques. They sense the channel conditions and adapt the modulation scheme to obtain the highest data rate for the given conditions.
- As signal to noise ratios decrease errors will increase along with re-sends of the data, thereby slowing throughput. By reverting to a lower order modulation scheme the link can be made more reliable with fewer data errors and re-sends.

Data Rate & Modulation Type

Bit-rate	802.11 Standards	DSSS or OFDM	Modulation	Bits per Symbol	Coding Rate	Mega-Symbols per second
1	b	DSSS	BPSK	1	1/11	11
2	b	DSSS	QPSK	2	1/11	11
5.5	b	DSSS	CCK	1	4/8	11
11	b	DSSS	CCK	2	4/8	11
6	a/g	OFDM	BPSK	1	1/2	12
9	a/g	OFDM	BPSK	1	3/4	12
12	a/g	OFDM	QPSK	2	1/2	12
18	a/g	OFDM	QPSK	2	3/4	12
24	a/g	OFDM	QAM-16	4	1/2	12
36	a/g	OFDM	QAM-16	4	3/4	12
48	a/g	OFDM	QAM-64	6	2/3	12
54	a/g	OFDM	QAM-64	6	3/4	12

John C. Bicket, Bit-rate Selection in Wireless Net, Master Thesis of Science in Computer Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2005, <http://pdos.csail.mit.edu/papers/jb>

802.11 protocol	Release	Freq. (GHz)	Bandwidth (MHz)	Data rate per stream (Mbit/s) ¹	Allowable MIMO streams	Modulation
--	Jun 1997	2.4	20	1, 2	1	DSSS, FHSS
a	Sep 1999	5	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1	OFDM
		3.7				
b	Sep 1999	2.4	20	1, 2, 5.5, 11	1	DSSS
g	Jun 2003	2.4	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1	OFDM, DSSS

802.11 protocol	Release	Freq. (GHz)	Bandwidth (MHz)	Data rate per stream (Mbit/s) [[]	Allowable MIMO streams	Modulation
n	Oct 2009	2.4/5	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	4	OFDM
			40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150		

http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

TERIMA KASIH