

IEICE2016

CSKを応用したディスプレイ-カメラ間通信

CSK communication system with displays and cameras



2016. 03.18

Atsuya Yokoi, Hiroki Mizuno

Samsung R&D Institute Japan

1. はじめに (VLC Introduction)
2. CSKとは (IEEE802.15.7)
3. CSKを応用したディスプレイ-カメラ通信
4. 提案システム (SDM-CSK)の性能評価
5. まとめ

◆ VLCとは？

可視光(380-780nm)に情報を載せる無線通信

◆ VLCの特徴(他の無線通信との違い)

1. 全ての人工光源(照明, Displays, 電子広告版, …)が送信装置になる
2. 人間の視覚との連携が可能

◆ VLCが可能にする情報伝送の世界

1. 光あるところに情報あり (Ubiquitous)
2. 通信エリアが目に見える (Security)
3. 光で選んで簡単接続 (Usability)

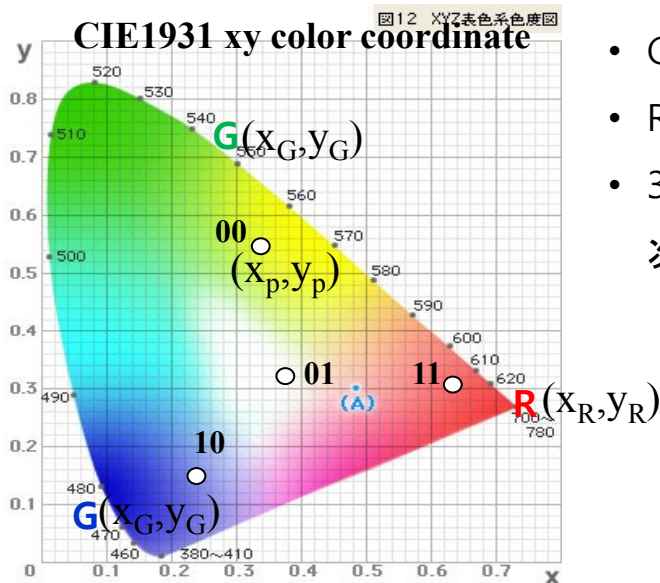


- 可視光通信の変調方式の一つ

CIE1931 xy color coordinate

色度座標を用いて情報を伝送する新しい可視光通信変調方式

- 2011年にIEEE802.15.7で標準化された物理レイヤの一つとして採用

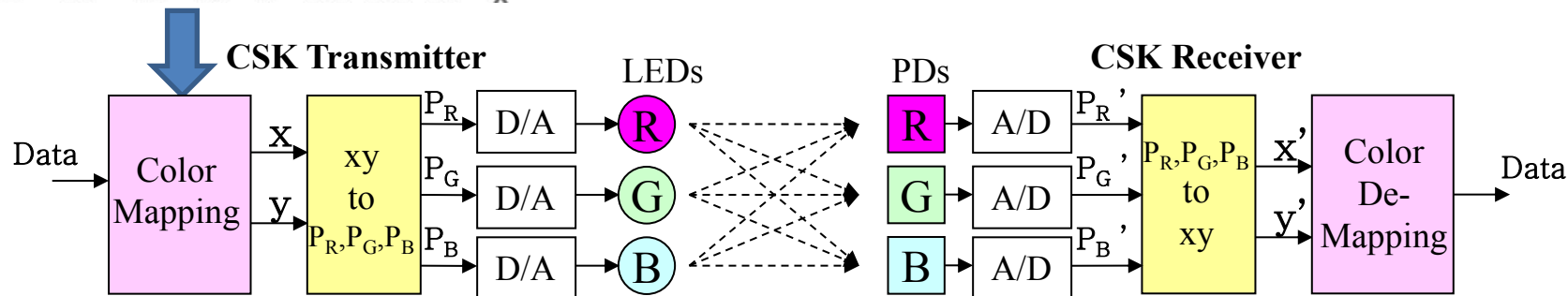


- CSK送信シンボルは色度座標上のxy座標によって定義される色である
- RGB3色の光源の合成によって、各シンボル座標の色を発生する
- 3色のLED光源の発光強度 P_R, P_G, P_B と、任意のシンボル座標の関係は、次式で定義される

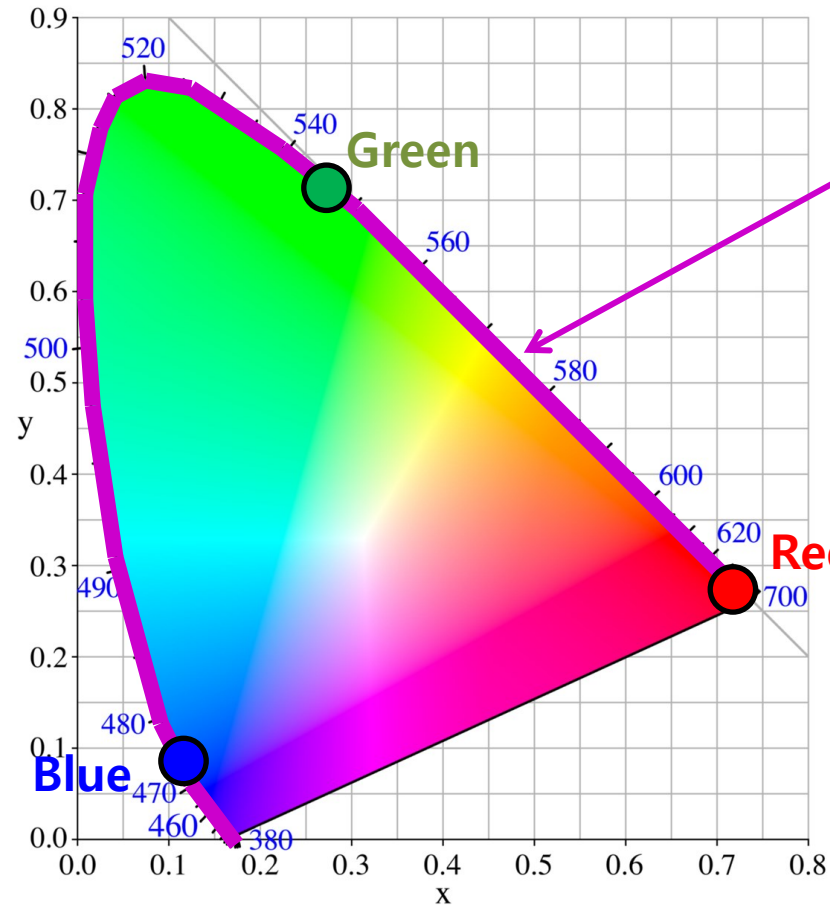
$$x_p = P_R \cdot x_R + P_G \cdot x_G + P_B \cdot x_B$$

$$y_p = P_R \cdot y_R + P_G \cdot y_G + P_B \cdot y_B$$

$$P_R + P_G + P_B = 1$$

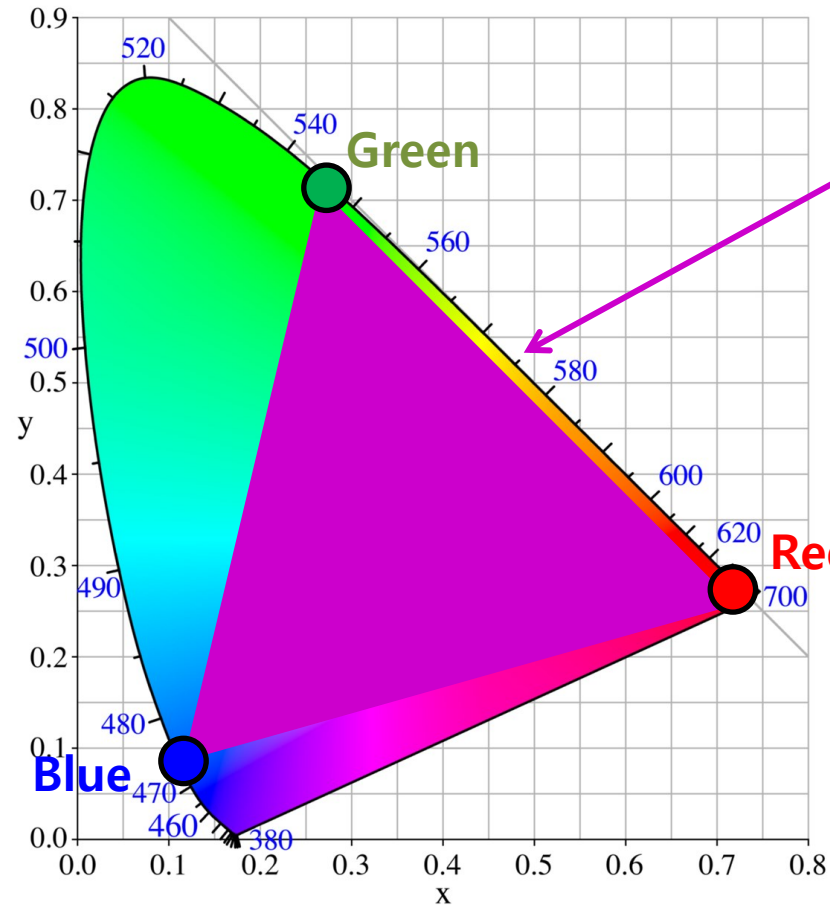


CSK system block diagram



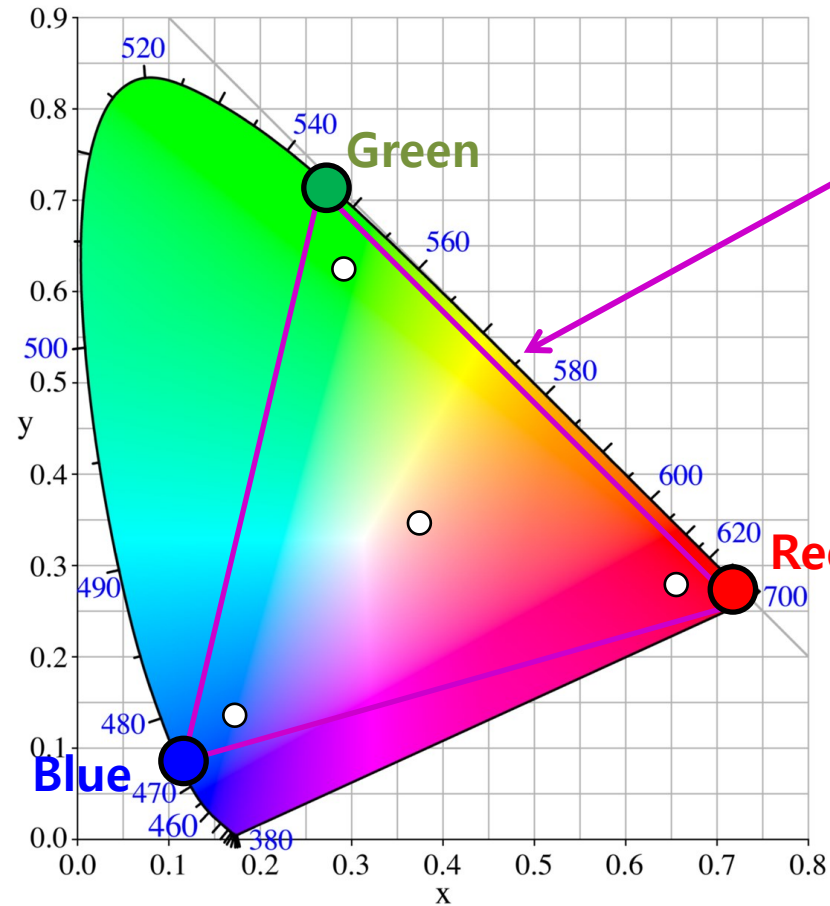
1つのLEDの色
波長: 380-780nm

CIE1931色度座標



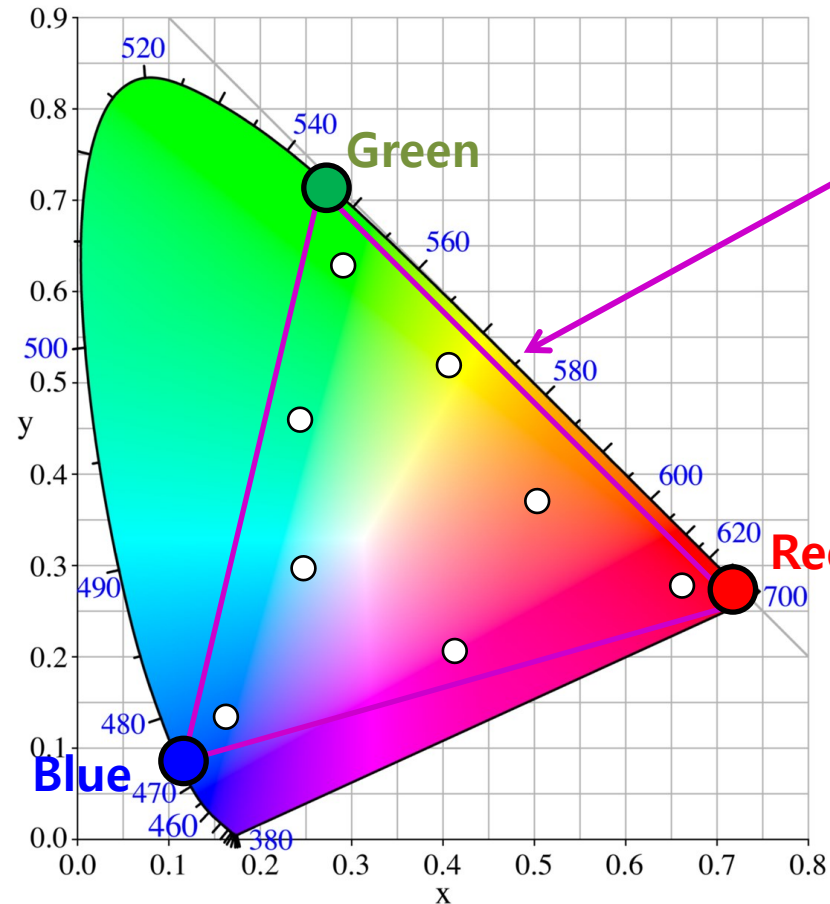
3つのLEDの合成光で
発色できるエリア

CIE1931色度座標



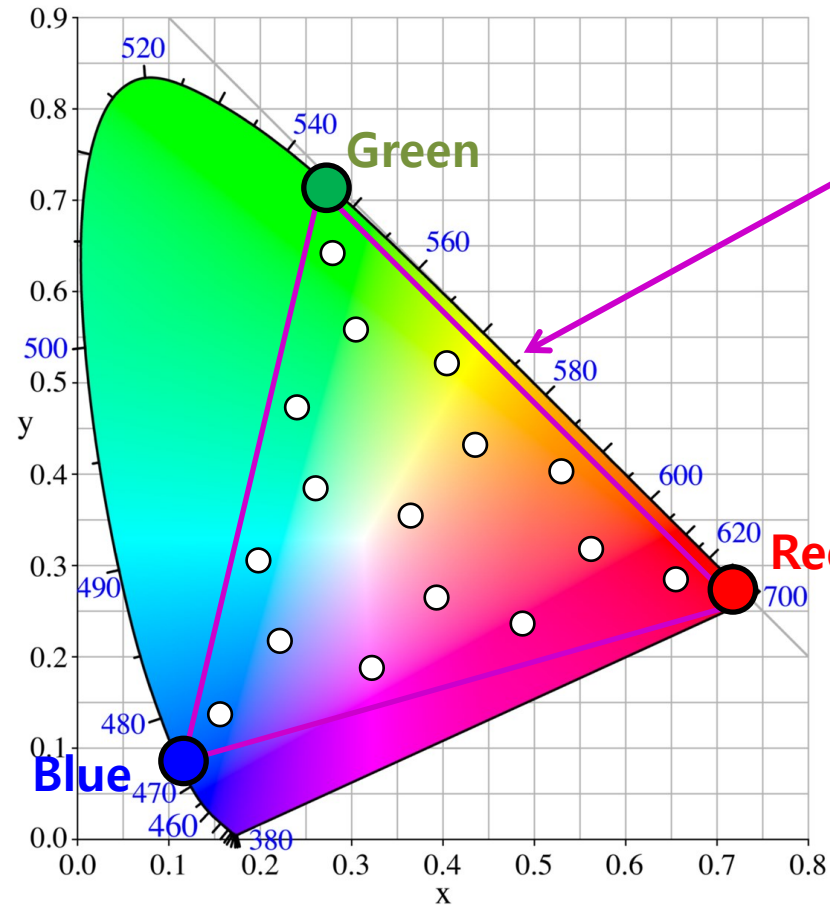
3つのLEDの合成光で
発色できるエリア

4CSK
(2bits/symbol)



3つのLEDの合成光で
発色できるエリア

8CSK
(3bits/symbol)



3つのLEDの合成光で
発色できるエリア

16CSK
(4bits/symbol)

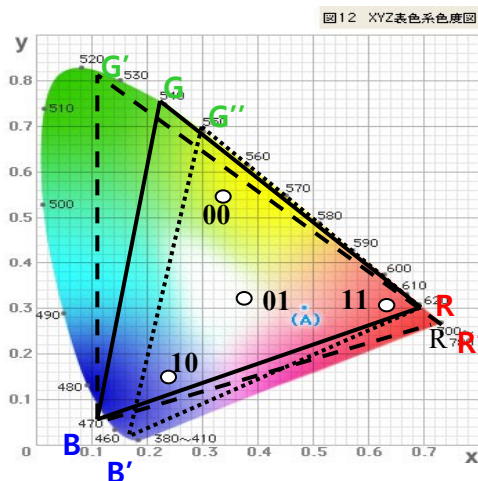
色座標によって、接続性が保証される

OOK(Multi colors OOK)では、光源と受光デバイスの波長特性によってチャンネルが定義される

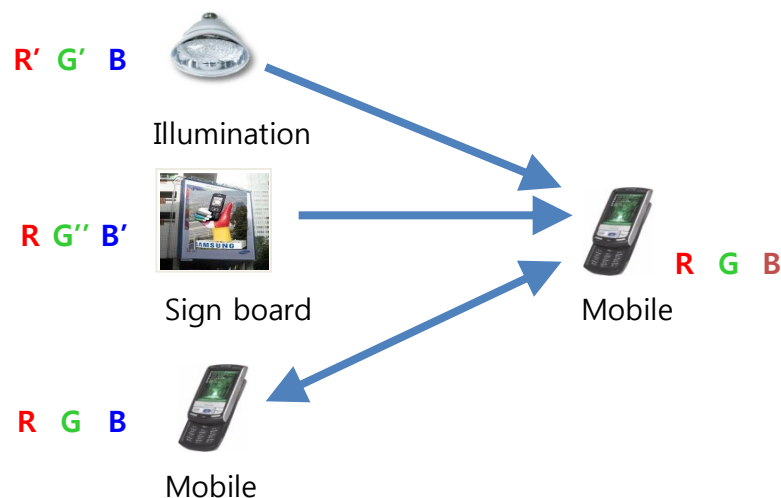
→ 接続性は、光デバイス(LED, PD)の特性によって決まる

CSKでは、色座標によってチャンネルが定義

→ 接続性は、色座標上のコンスタレーションによって保証される



CSK constellation on the xy color coordinate



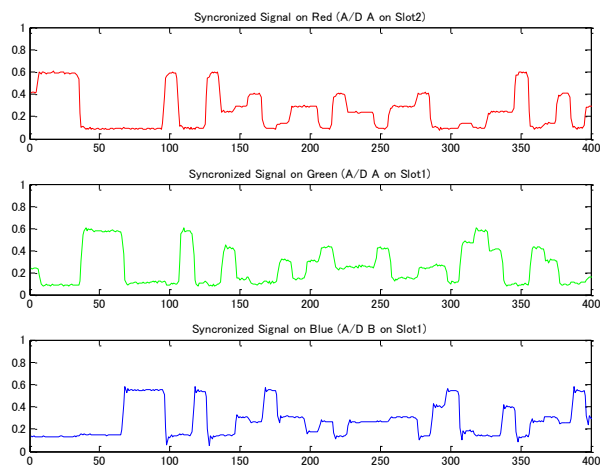
CSK scenarios using various devices

総合輝度(発光強度)が一定

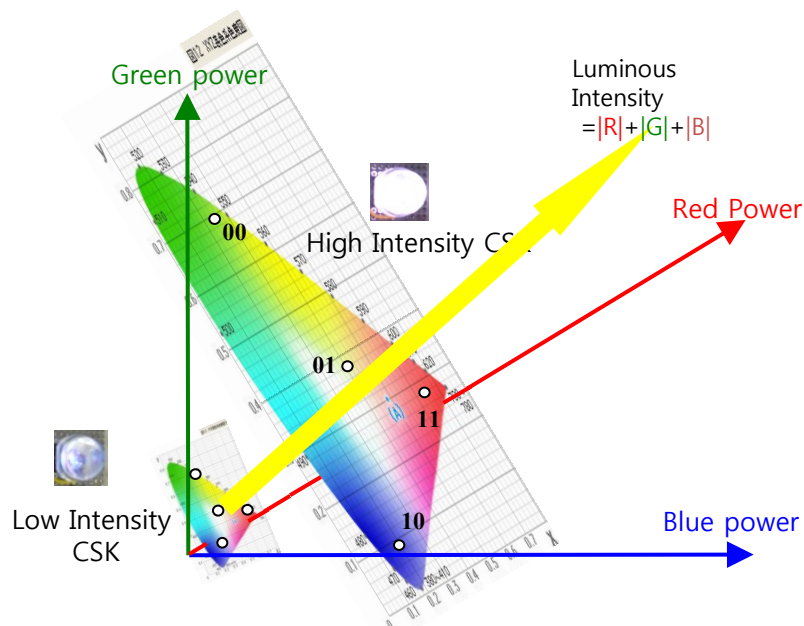
CSKの原理上、全ての光源の発光強度(輝度)の和が一定

→ OOKで必要な輝度フリッカー対策が不要

→ 照明としての輝度制御や色制御にも対応が可能



RGB signals' wave forms
 $R+G+B=\text{constant}$ at any time



xy color coordinate(2D) in RGB power coordinate(3D)
 $R+G+B=\text{constant}$ at any intensity

通信速度(ビットレート)可変可能

OOKの通信速度は、シンボルレート(すなわち、光源の点滅スピード)で決定される

→ OOKの通信速度は、光源の周波数応答特性によって制限される

CSKの通信速度は、シンボルレートとコンスタレーションの信号点数で決定される

→ CSKの通信速度は、光源の周波数応答特性のみで制限されない

→ SNR(Signal to Noise Ratio)が高い環境では、コンスタレーションの信号点数を増やすことで、通信速度を大きくすることができる

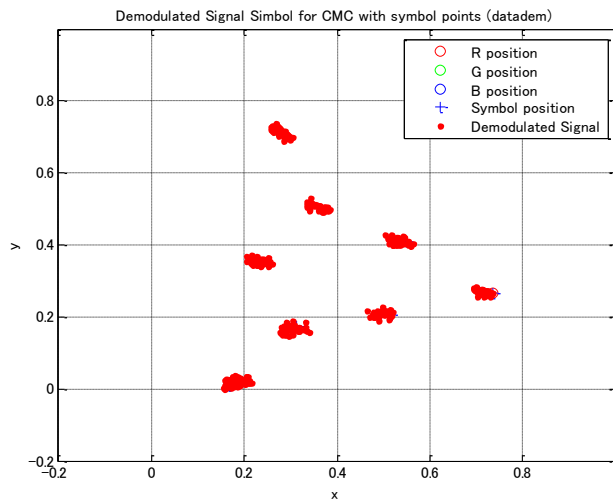
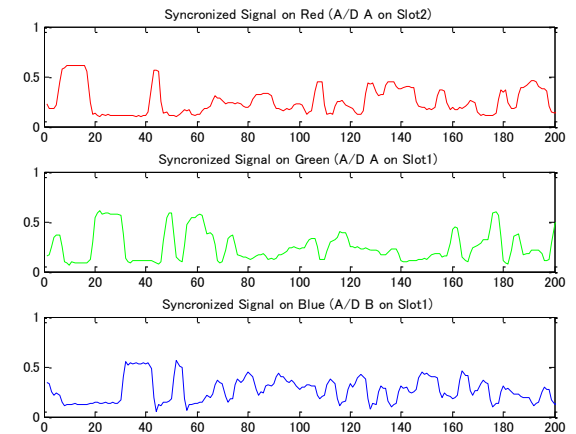
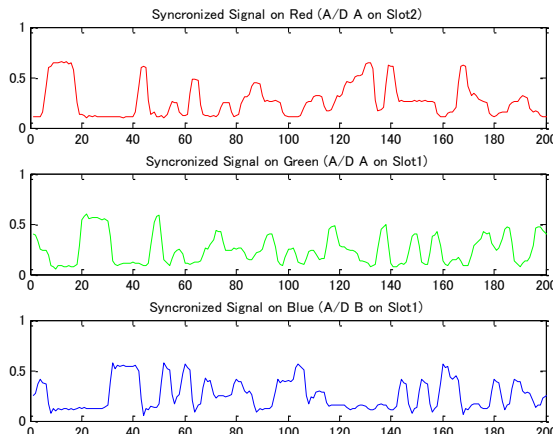
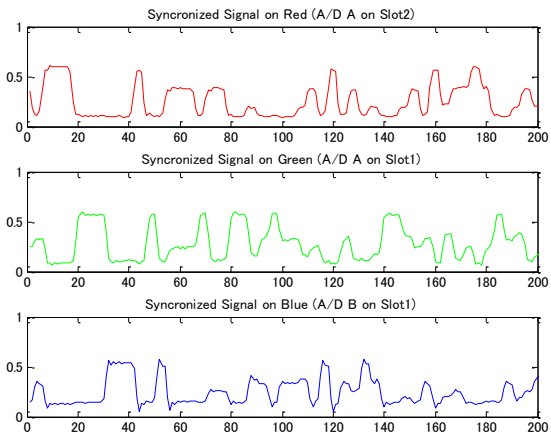
Low ← SNR → High

Low
↑
Frequency
response
↓
High

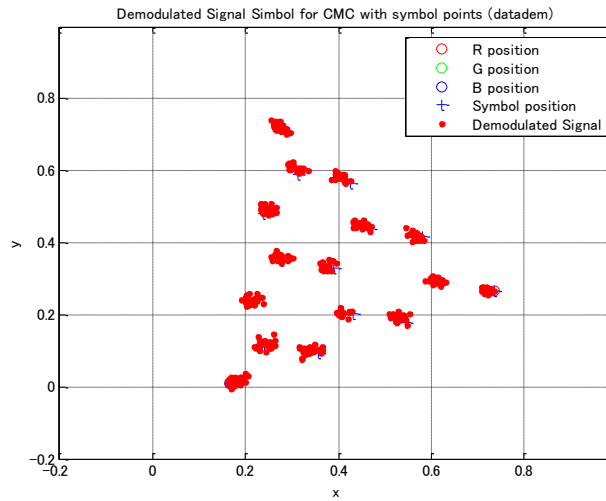
Symbol Rate	OOK 1bit/symbol	4CSK 2bit/symbol	8CSK 3bit/symbol	16CSK 4bit/symbol
2.5MHz	2.5Mbps	5Mbps	7.5Mbps	10Mbps
5MHz	5Mbps	10Mbps	15Mbps	20Mbps
10MHz	10Mbps	20Mbps	30Mbps	40Mbps
25MHz	25Mbps	50Mbps	75Mbps	100Mbps

Example of OOK/CSK bit rate

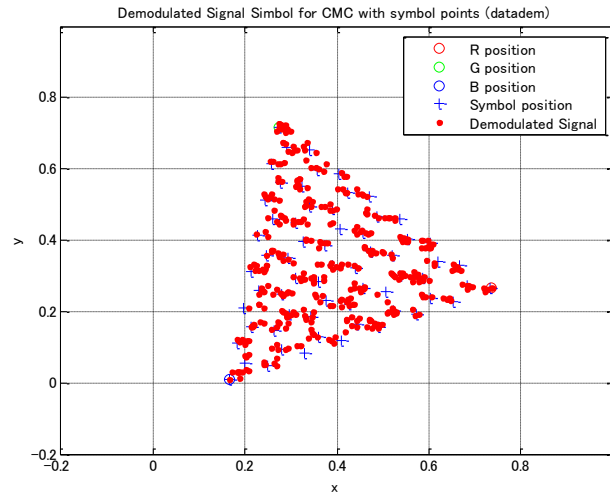
CSK実験評価 (25MHz/Symbol)



8CSK (75Mbps)
BER < 10^{-7}



16CSK (100Mbps)
BER < 10^{-7}



64CSK (150Mbps)
BER $\approx 10^{-2}$

VLC PHY features

- PHY layer type
 - PHY I : Low data rate : 12 – 270 kbps
 - PHY II : High data rate : 1.25 – 96 Mbps
 - PHY III : CSK : 12 – 96 Mbps
- Modulation schemes proposed
 - OOK (On Off Keying)
 - VPPM (Valuable PPM)
 - CSK (Color Shift Keying)
- Line coding
 - Manchester
 - 4B6B
 - 8B10B

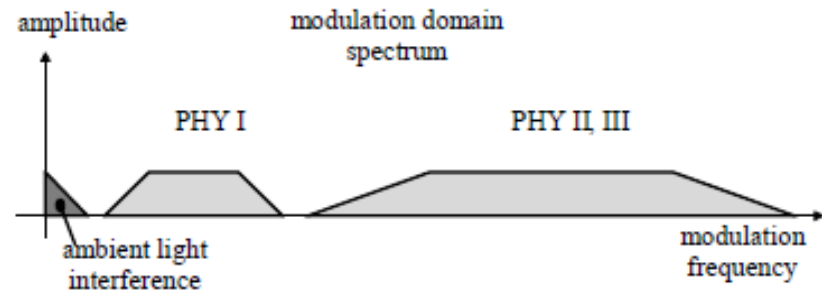
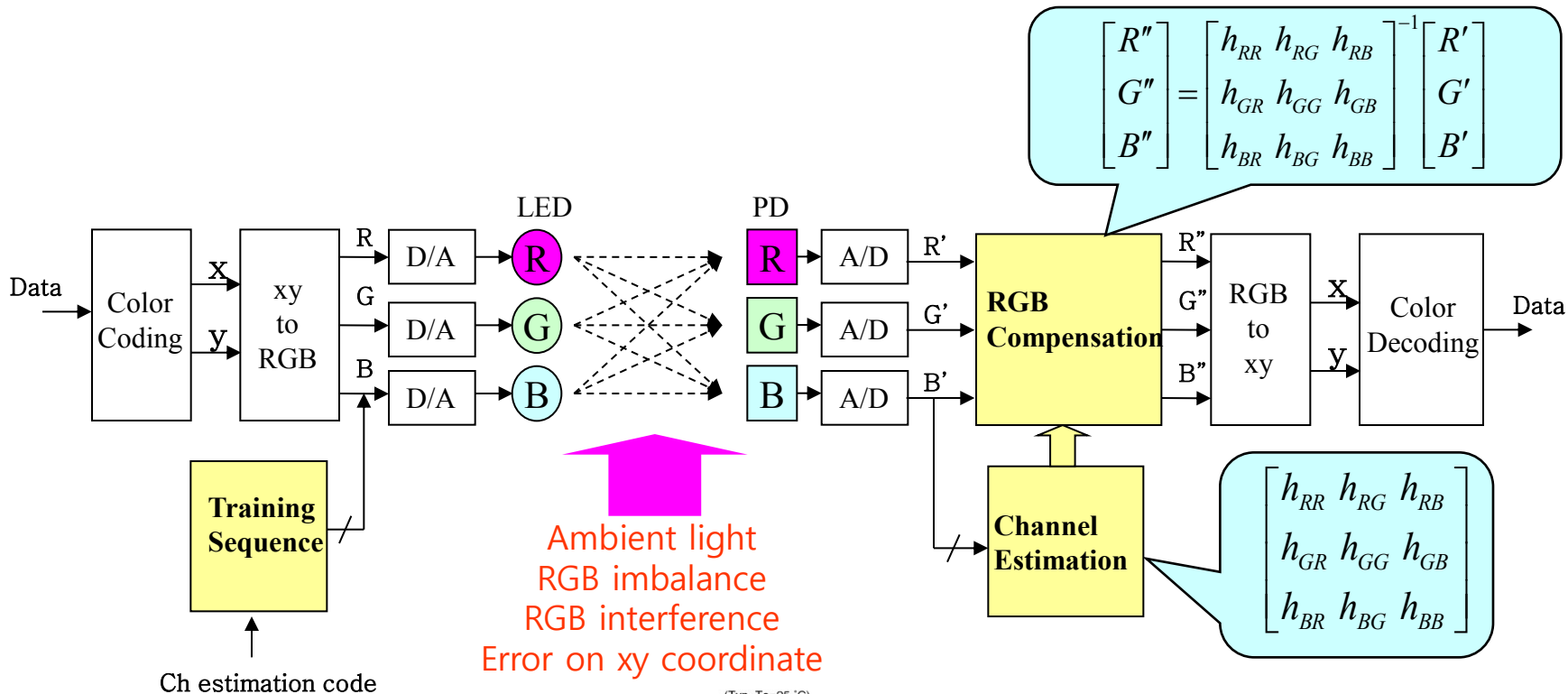


Figure 4—FDM separation of the PHY types in the modulation domain

PHY III Data Rate Table

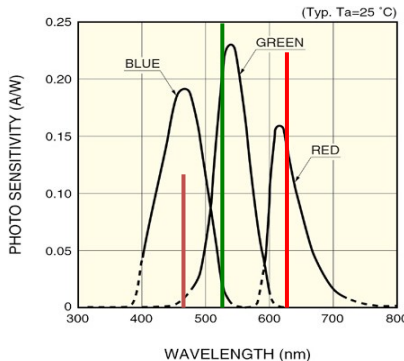
Modulation	Optical clock rate	FEC	Data rate
4-CSK	12 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	18 Mb/s
4-CSK	24 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	36 Mb/s
16-CSK		RS(64,32)	48 Mb/s
8-CSK		none	72 Mb/s
16-CSK		none	96 Mb/s

RGB Calibration



$$\begin{bmatrix} R'' \\ G'' \\ B'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{RR} & h_{RG} & h_{RB} \\ h_{GR} & h_{GG} & h_{GB} \\ h_{BR} & h_{BG} & h_{BB} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} h_{RR} & h_{RG} & h_{RB} \\ h_{GR} & h_{GG} & h_{GB} \\ h_{BR} & h_{BG} & h_{BB} \end{bmatrix}$$



CSK system configuration with RGB calibration

CSK High Speed Application


Illumination
RGB Multi Chip LED


Digital signage
RGB LEDs

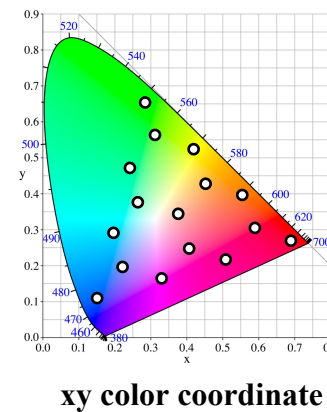

Mobile
RGB Multi Chip LED

* Data Speed Estimation
Symbol Rate: 25MHz
16CSK: 4bit/symbol

High Speed Data
Up to 100Mbps


Mobile
RGB Color Sensor

- Applications
- Data Down Load
 - WLAN
 - Navigation



送信:RGB LED → 受信:RGBカラーセンサ(PD with color filters)
メリット:高速通信 12Mbps to 96Mbps (IEEE802.15.7)
デメリット:送信、受信ともに追加ハードウェアが必要

CSK Low Speed Application



TV, PC, Bill board
LCD Display



Digital signage
LED Display



Mobile
LCD Display

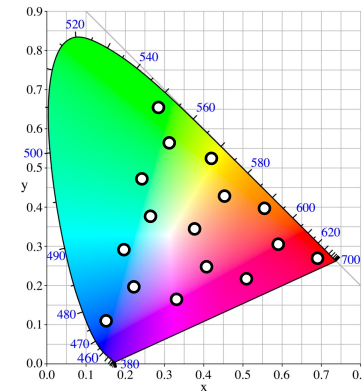
* Data Speed Estimation
Symbol Rate: 15Hz
16CSK: 4bit/symbol

Low Speed Data
around 60bps



Mobile
Camera

New ISC system
with CSK !



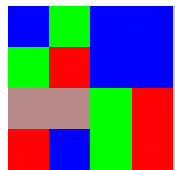
xy color coordinate

Applications

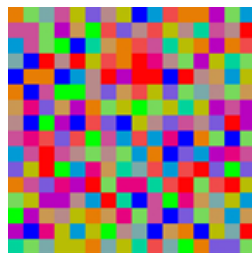
- Special Information
- Voice streaming
- Support for disabled person
- Security

送信:ディスプレイに表示 → 受信:カメラで撮影
メリット:既存のディスプレイとカメラで実現できる
デメリット:低速通信 60bps (30fps Camera & 16CSK)

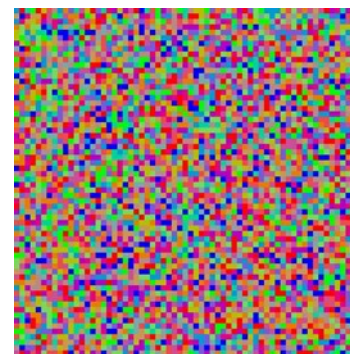
SDM(Space Division Multiplex)-CSK



4 × 4SDM-16CSK
(480bps)



16 × 16SDM-16CSK
(15kbps)



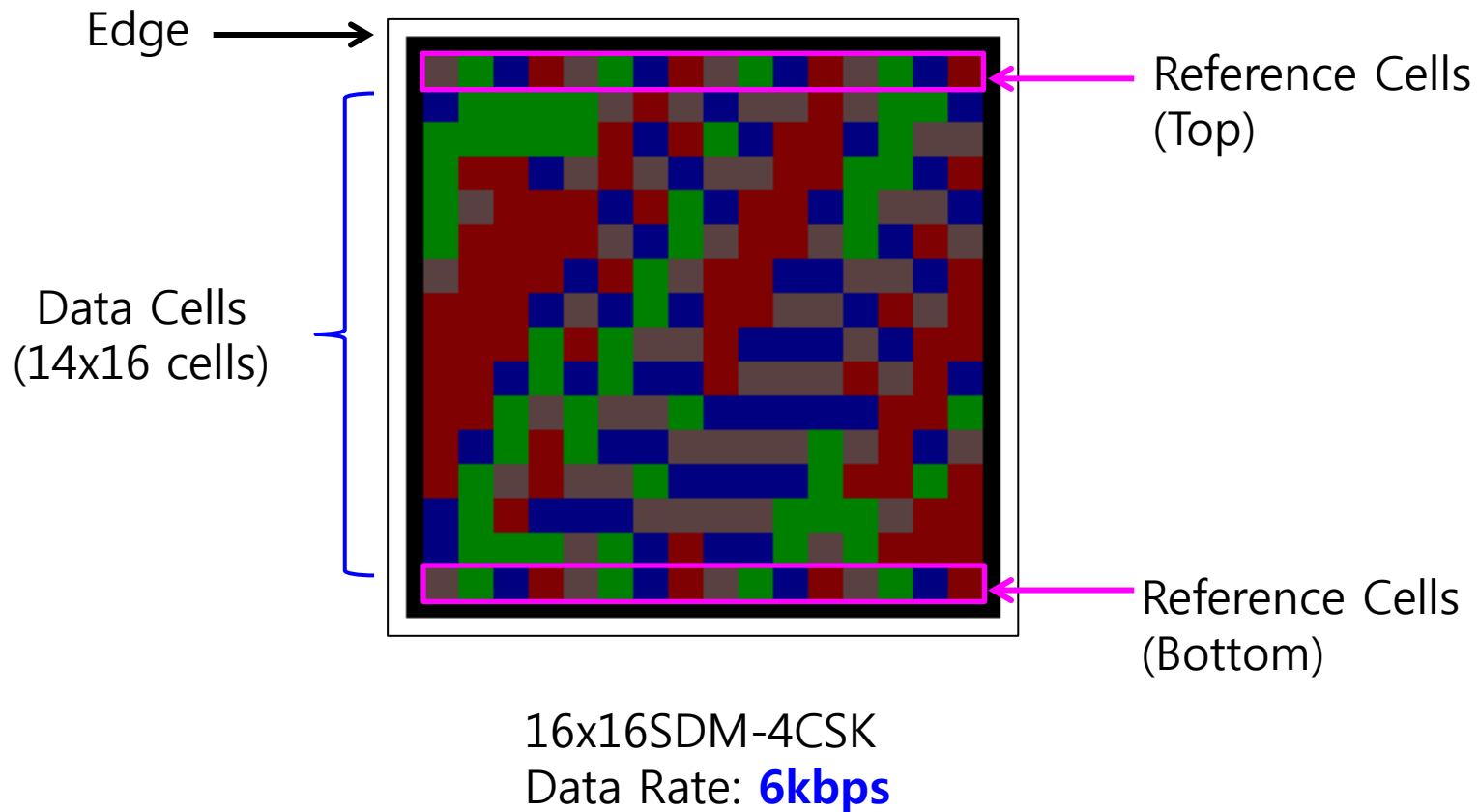
64 × 64SDM-16CSK
(245kbps)

Examples of two dimensional SDM-CSK code

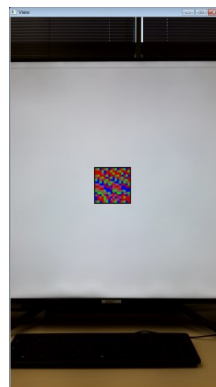
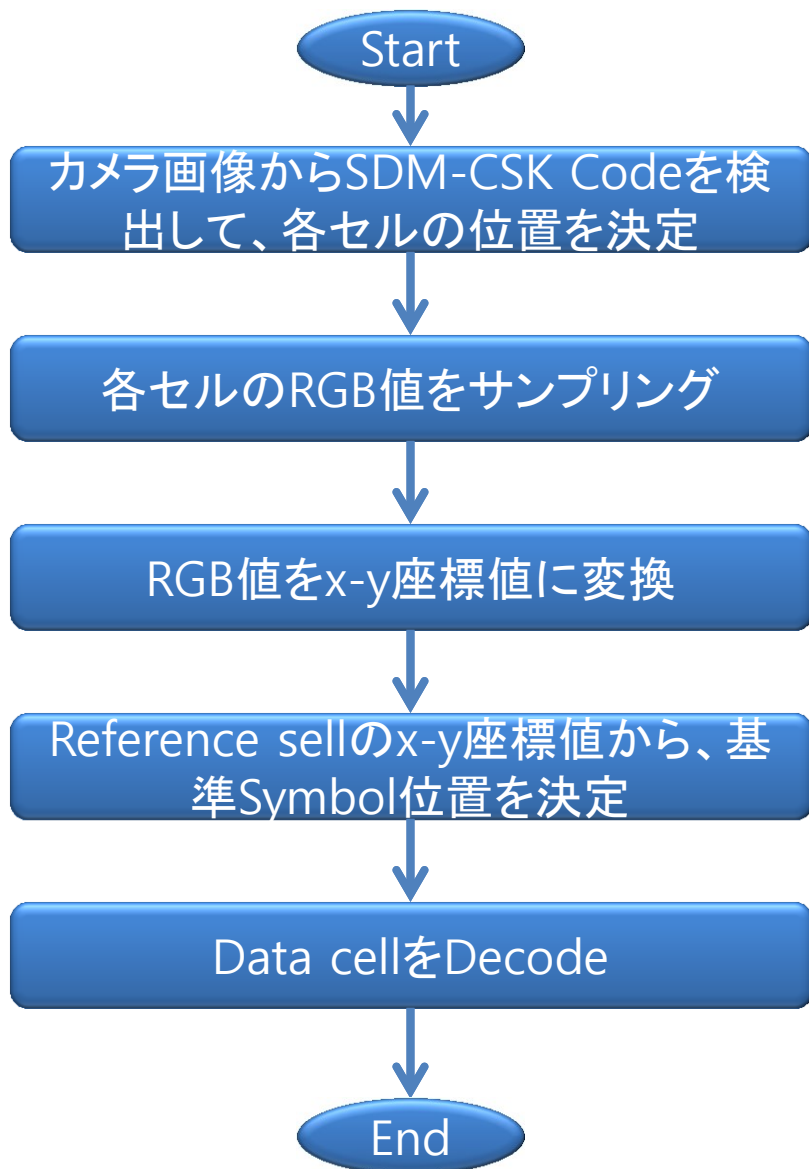
Principle data rate of SDM-CSK @15Hz symbol rate

	4CSK	8CSK	16CSK
Conventional	30bps	45bps	60bps
4 × 4 SDM	480bps	720bps	960bps
16 × 16 SDM	7.68kbps	11.5kbps	15.3kbps
64 × 64 SDM	122kbps	184kbps	245kbps

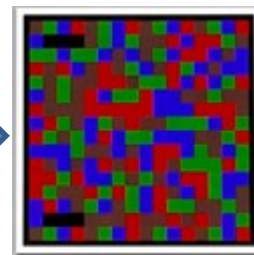
Configuration of SDM-CSK code



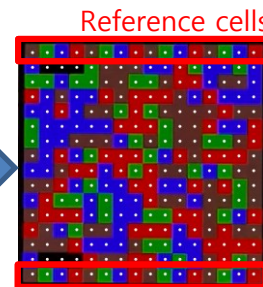
SDM-CSK 受信アルゴリズム



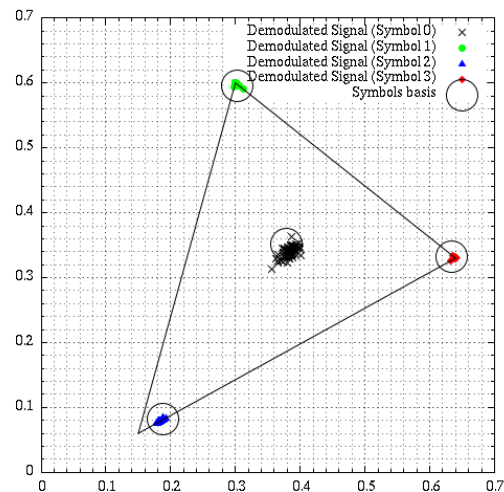
Captured Image



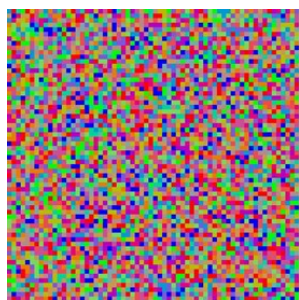
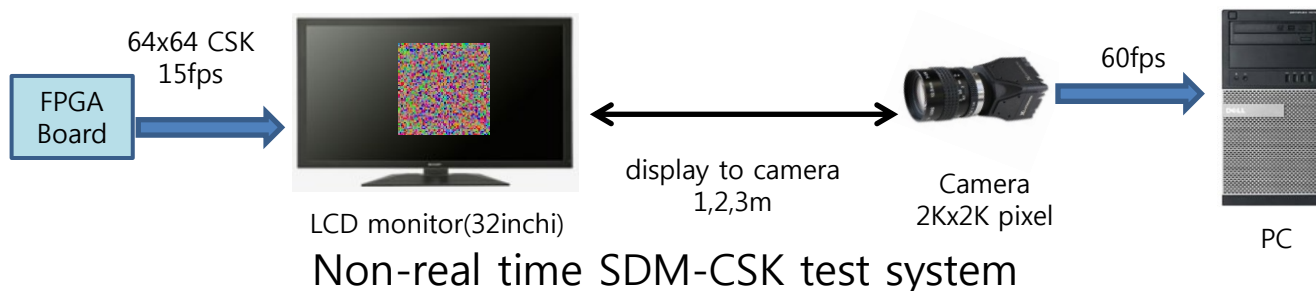
Detected SDM-CSK code



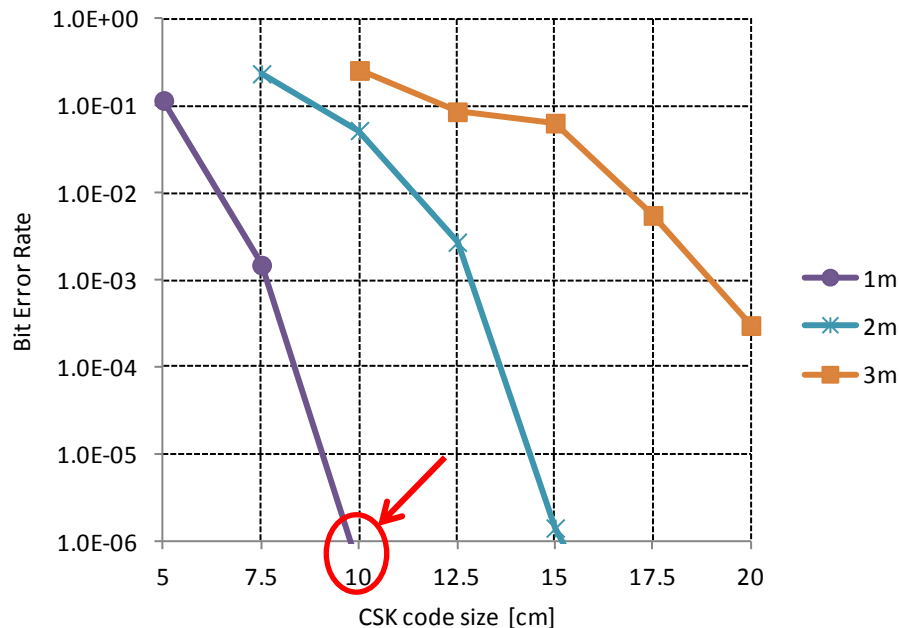
Reference cells
Sampling Color points



Non-real time test system



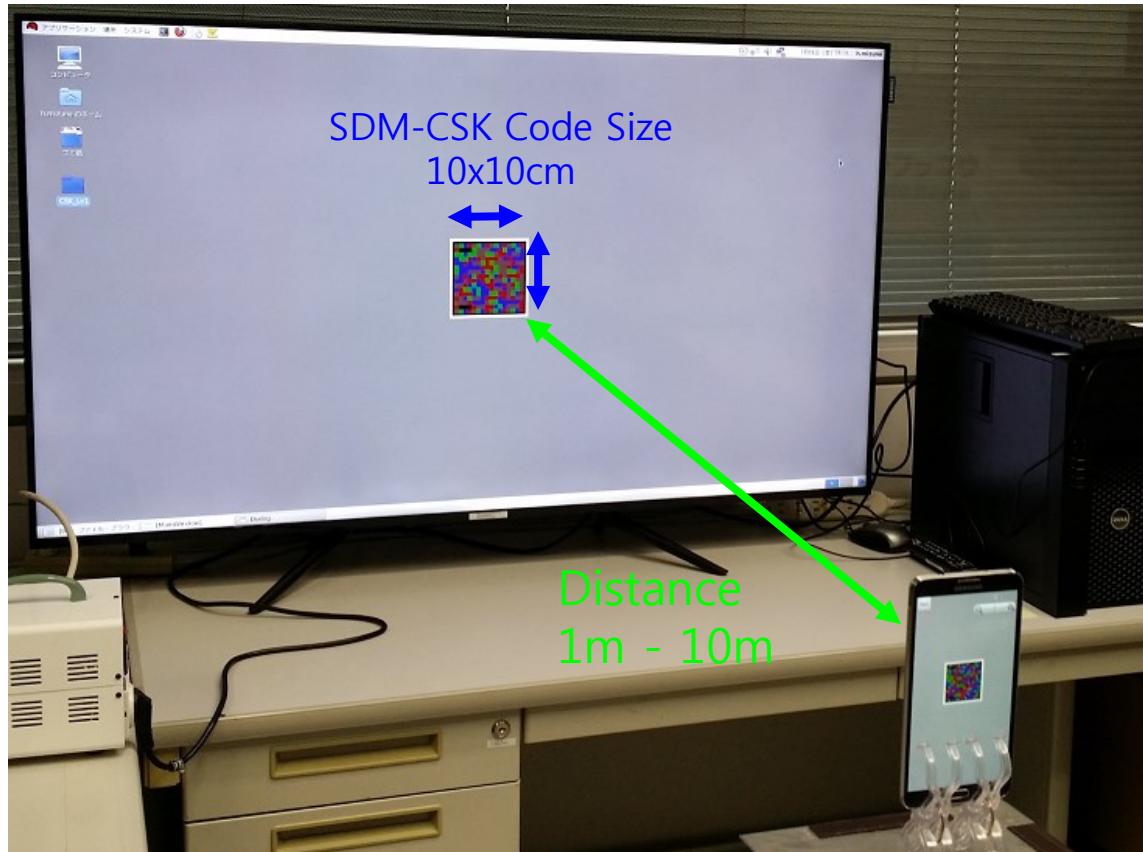
64 × 64SDM-16CSK
Data rate: 238kbps



Measured BER (bit error rate) performance

64x64SDM-16CSKで238kbpsの伝送が可能 (1m@10cmx10cm code)

Real time prototype



Display Spec

Size : 55inch
Resolution : 1920 x 1080
Refresh rate : 60Hz

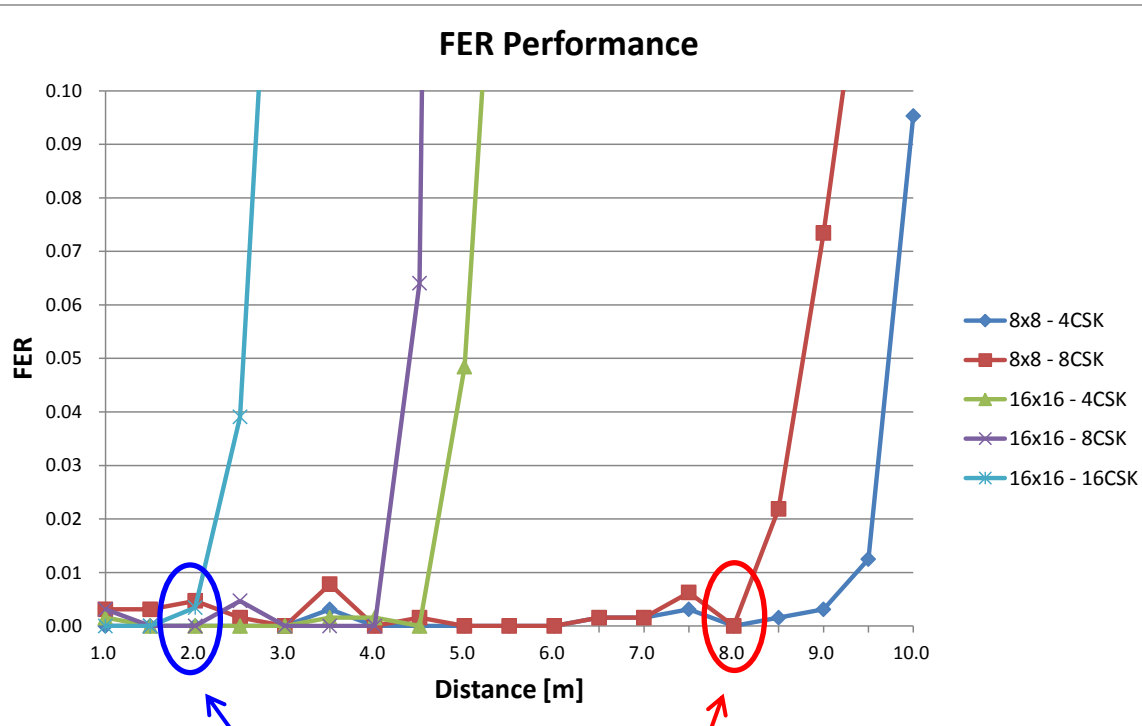
CSK Spec

SDM-CSK frame rate : 15Hz
8x8/16x16SDM
4CSK/8CSK/16CSK

Smart Phone Spec

Model : Samsung Galaxy Note 3
Camera : CMOS, 13mega pixel
Movie frame rate : 30fps

FER of Real time prototype



Measured FER (frame error rate) performance

- 8mで、1.44kbps伝送可能 (8x8SDM-8CSK, FER 1%以下)
- 2mで、12kbbps伝送可能 (16x16SDM-16CSK, FER 1%以下)

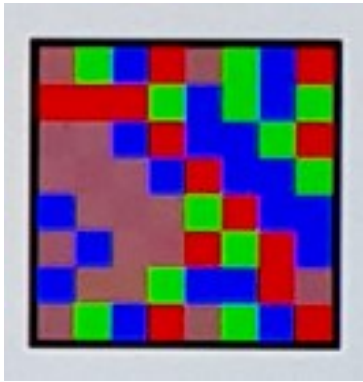
CSK color	SDM	Data Rate	Max Distance
4CSK	8x8	960bps	9.0m
8CSK		1.44kbps	8.0m
4CSK	16x16	6.0kbps	4.5m
8CSK		9.12kbps	3.5m
16CSK		12.0kbps	2.0m

Frame: Data train which composes one SDM-CSK code.

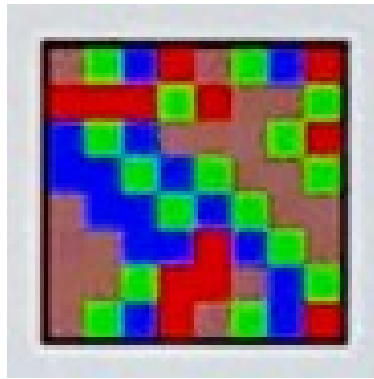
Max distance: Maximum transmitting distance that FER is less than 1%.

SDM-CSK Performance

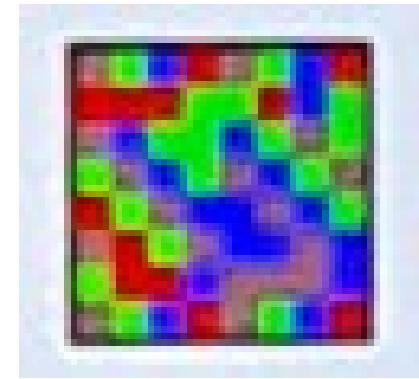
Captured CSK code 8x8SDM-4CSK



Distance : 3m

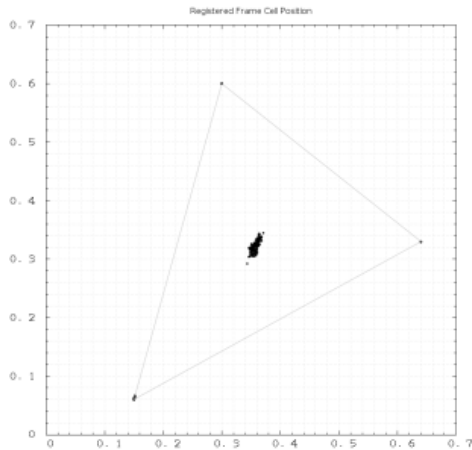


Distance : 5m

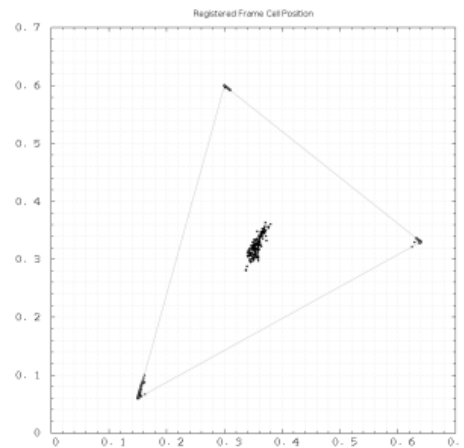


Distance : 8m

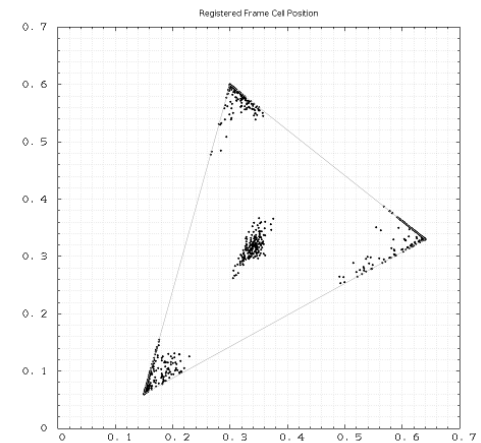
Demodulated Constellation 8x8SDM-4CSK



Distance : 3m



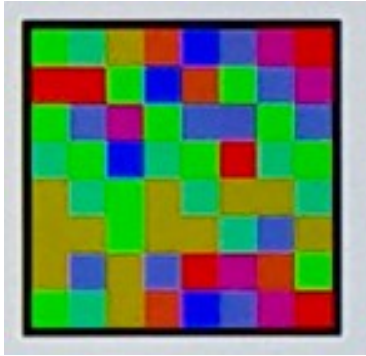
Distance : 5m



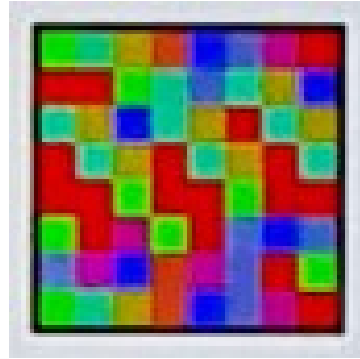
Distance : 8m

SDM-CSK Performance

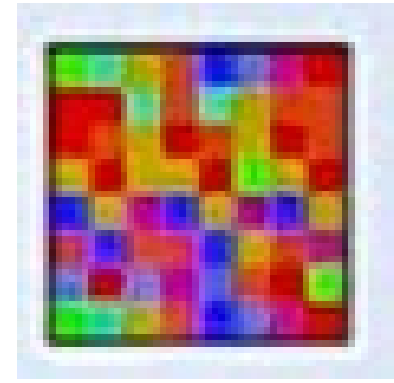
Captured CSK code 8x8SDM-8CSK



Distance : 3m

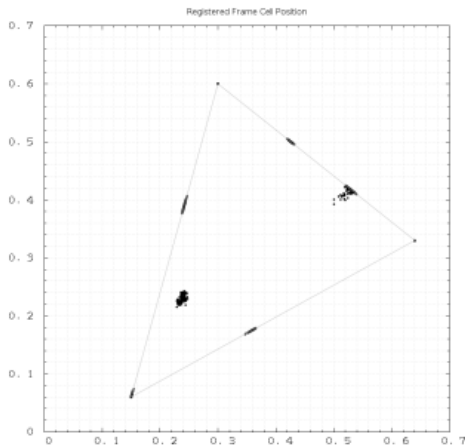


Distance : 5m

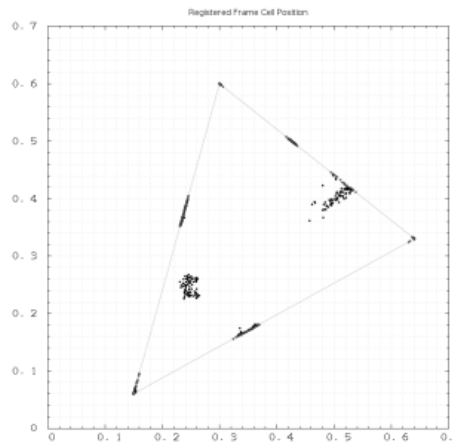


Distance : 8m

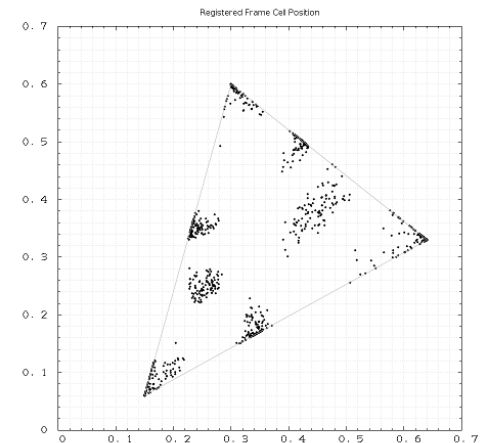
Demodulated Constellation 8x8SDM-8CSK



Distance : 3m



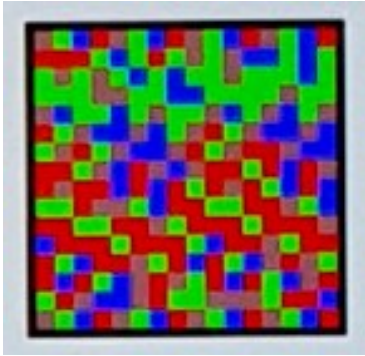
Distance : 5m



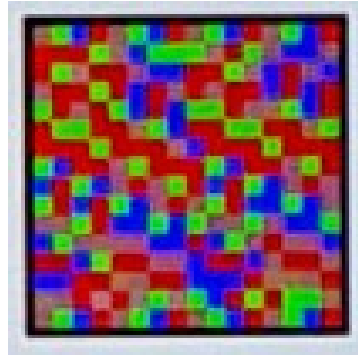
Distance : 8m

SDM-CSK Performance

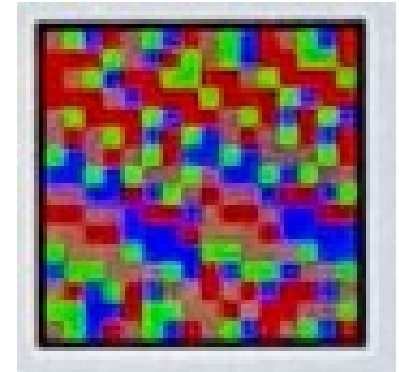
Captured CSK code 16x16SDM-4CSK



Distance : 3m

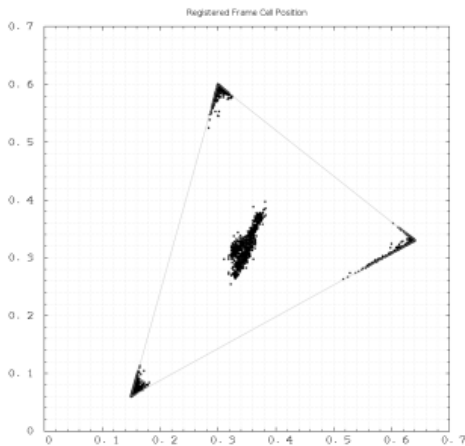


Distance : 4m

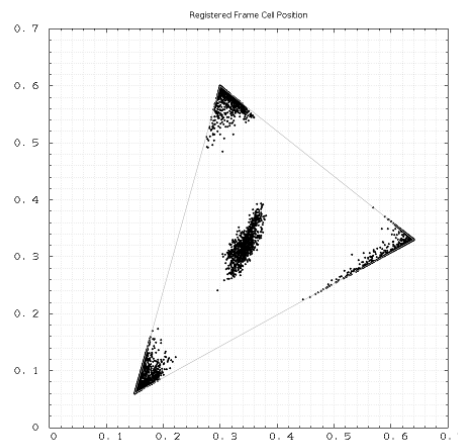


Distance : 5m

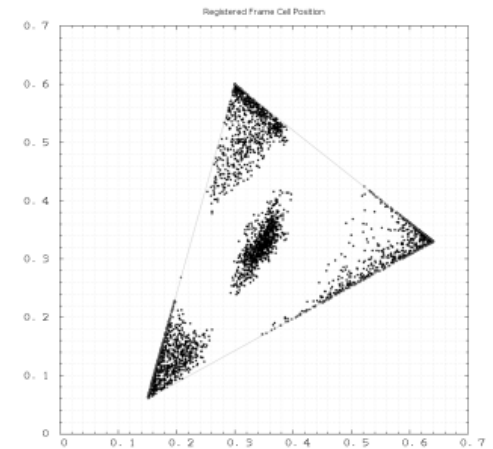
Demodulated Constellation 16x16SDM-4CSK



Distance : 3m



Distance : 4m



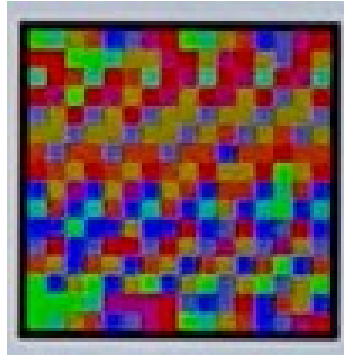
Distance : 5m

SDM-CSK Performance

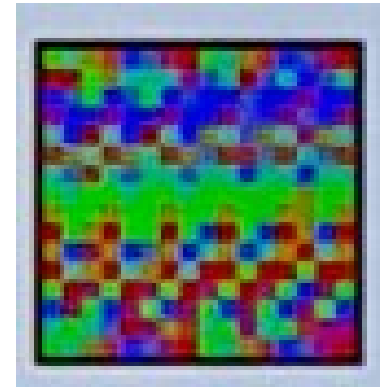
Captured CSK code 16x16SDM-8CSK



Distance : 3m

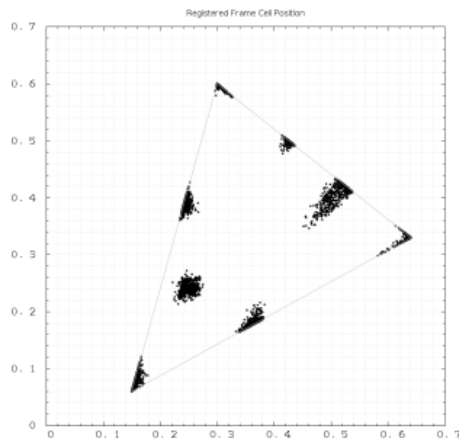


Distance : 4m

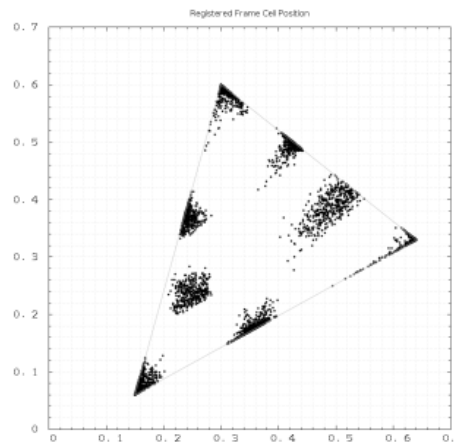


Distance : 5m

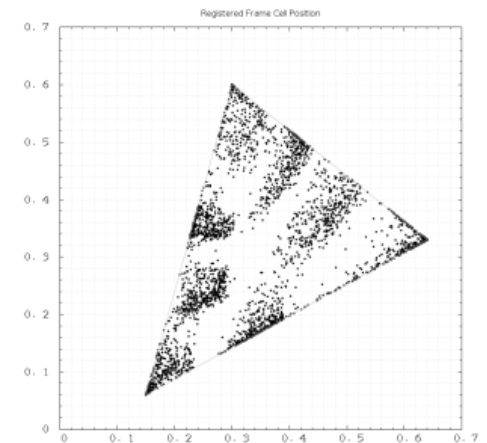
Demodulated Constellation 16x16SDM-8CSK



Distance : 3m



Distance : 4m



Distance : 5m

1. CSKを応用した、ディスプレイ-カメラ間通信を紹介した
2. 2次元SDM-CSKを提案し、実験により性能を示した
 - ノンリアルタイム実験で、238kbps の通信速度を確認した
 - リアルタイム実験で、12kbps の通信速度を確認した
3. 今後の検討予定
 - 提案システムの高性能化(通信距離、通信速度の向上)
 - SDM-CSK codeのさらなる進化(見た目、利用方法)