

# レベル分割多重と符号分割多重とを用いた 簡易可視光通信システム

島根職業能力開発促進センター  
松永 龍真

# 発表の概要

レベル分割多重と符号分割多重とを用いた簡易可視光通信システムを実装  
強度領域で 2 多重、符号領域で 2 多重 → 合計で 4 多重

送受信機間の同期及び信号強度の推定

データに先立ってプレアンプを送信することにより実現

データ受信中の同期補正

受信機における推定クロック周期の誤差を補正

送信されるデータ長が大きい場合でも安定した通信を実現

伝送実験では送受信機を完全に分離した通信を実現

# 背景・目的

# 可視光通信: 人間の目に見える無線通信

情報通信技術の高度化や利用場面の多様化

いつでも・どこでも使える通信が求められている

電波による無線通信では周波数帯域の圧迫が課題になっている

電波による無線通信を補う可視光通信

照明や表示に用いられる発光ダイオード（LED）を活用できる

従来の無線通信にはない特徴

情報を伝送する様子を人間の目で直接確認できる

利用に際して申請や免許などが必要ない

→ 無線通信の教材としての利用可能性

# 可視光通信の通信容量を増大するための方式

## レベル分割多重（LDM）方式<sup>[2]</sup>

各信号に異なる強度を割り当てて同時に送信する

4K 地上デジタル放送の信号を重畳するための方式として検討

## 符号分割多重（CDM）方式<sup>[3]</sup>

各信号に異なる符号語を割り当てて同時に送信する

第三世代移動体通信の多元接続方式と同様の原理

LDM 方式と CDM 方式とでは異なる領域で多重化を行う

二つの多重化方式を併用することで通信容量を倍増できる

# 既存研究: 可視光 CDM 伝送実験システム

同期 CDM を用いた可視光通信の実験システムが実装されている<sup>[3]</sup>

- 5 チャネルを同時に送信可能  
→ 5 個の LED を用いてそれぞれ送信
- 伝送速度は各チャネルあたり 31.25 kbps (クロック速度は 500 kHz)  
→ 人間の目では認識できない点滅速度
- 送受信機間はカンニング同期方式を採用  
→ 送受信機間の完全な分離は不可能

LDM による多重化は実装されていない

# システム開発の目的

LDM と CDM とを組み合わせた可視光通信システムの前例はない  
これらの方式を用いた可視光通信システムを実現する

送信機と受信機とを完全に分離したシステムを実現する  
データ送信に先立ってプレアンプルを送信  
データ送信中も同期ずれを補正

人間の目で「通信の様子」を確認できる通信を実現する  
教材としても利用できる通信システムを提供する

# 通信方式



# MPSC を用いた同期 CDM

拡張プライム系列符号 (MPSC)  
同期光符号分割多重の拡散符号  
 $q$  を素冪とする  $GF(q)$  上になる

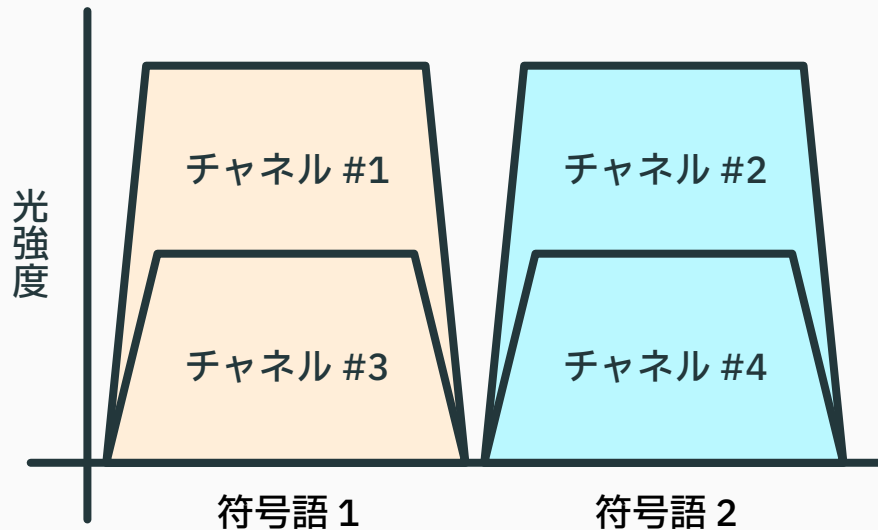
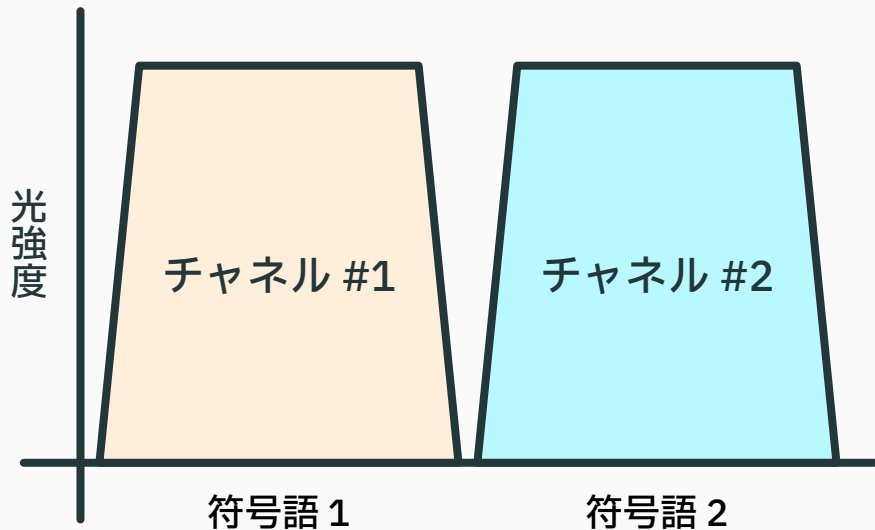
グループを単位とした相関特性  
 $q$ : 自己相関  
0: 同グループの符号語の相互相関  
1: 別グループの符号語の相互相関

MPSC を利用した等重み直交 (EWO) 方式  
多重化による干渉と背景光の影響を同時に除去

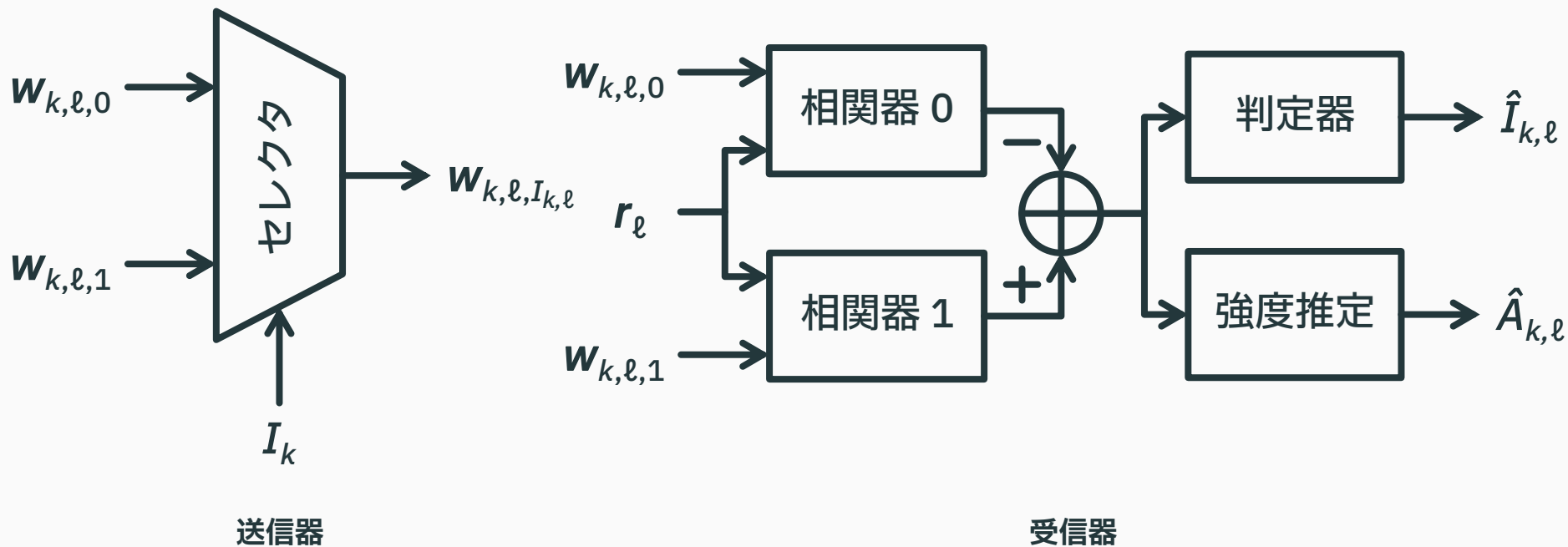
GF(2 <sup>2</sup> ) 上の MPSC					
<i>i</i>	<i>j</i>	<i>c<sub>i,j</sub></i>			
0	0	1000	1000	1000	1000
	1	0100	0100	0100	0100
	2	0010	0010	0010	0010
	3	0001	0001	0001	0001
1	0	1000	0100	0010	0001
	1	0100	1000	0001	0010
	2	0010	0001	1000	0100
	3	0001	0010	0100	1000
2	0	1000	0010	0001	0100
	1	0100	0001	0010	1000
	2	0010	1000	0100	0001
	3	0001	0100	1000	0010
3	0	1000	0001	0100	0010
	1	0100	0010	1000	0001
	2	0010	0100	0001	1000
	3	0001	1000	0010	0100

# LDM による多重化

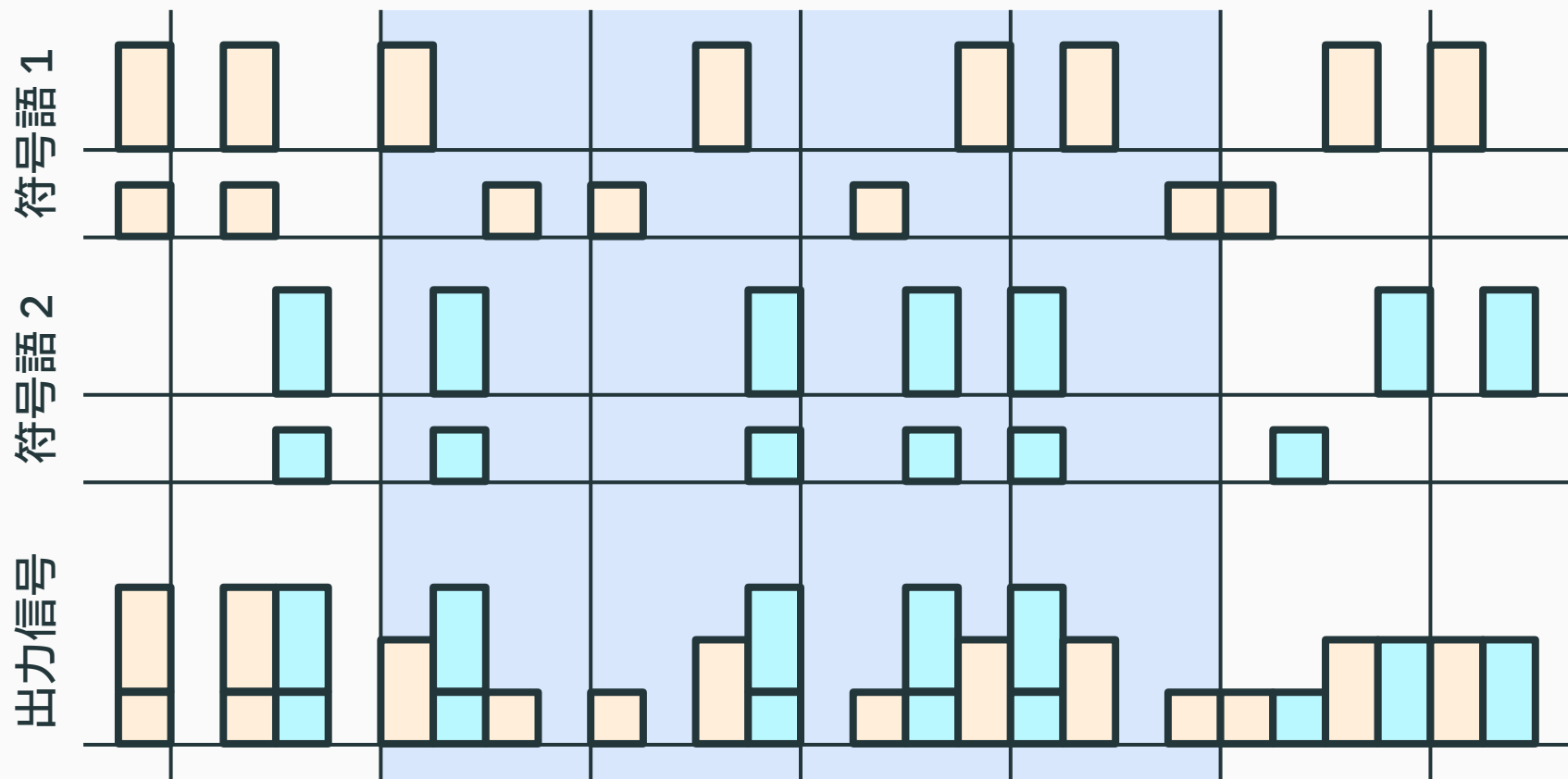
強度によって信号を区別し、情報信号の多重化を実現する



# EWO 方式を用いた同期 CDM

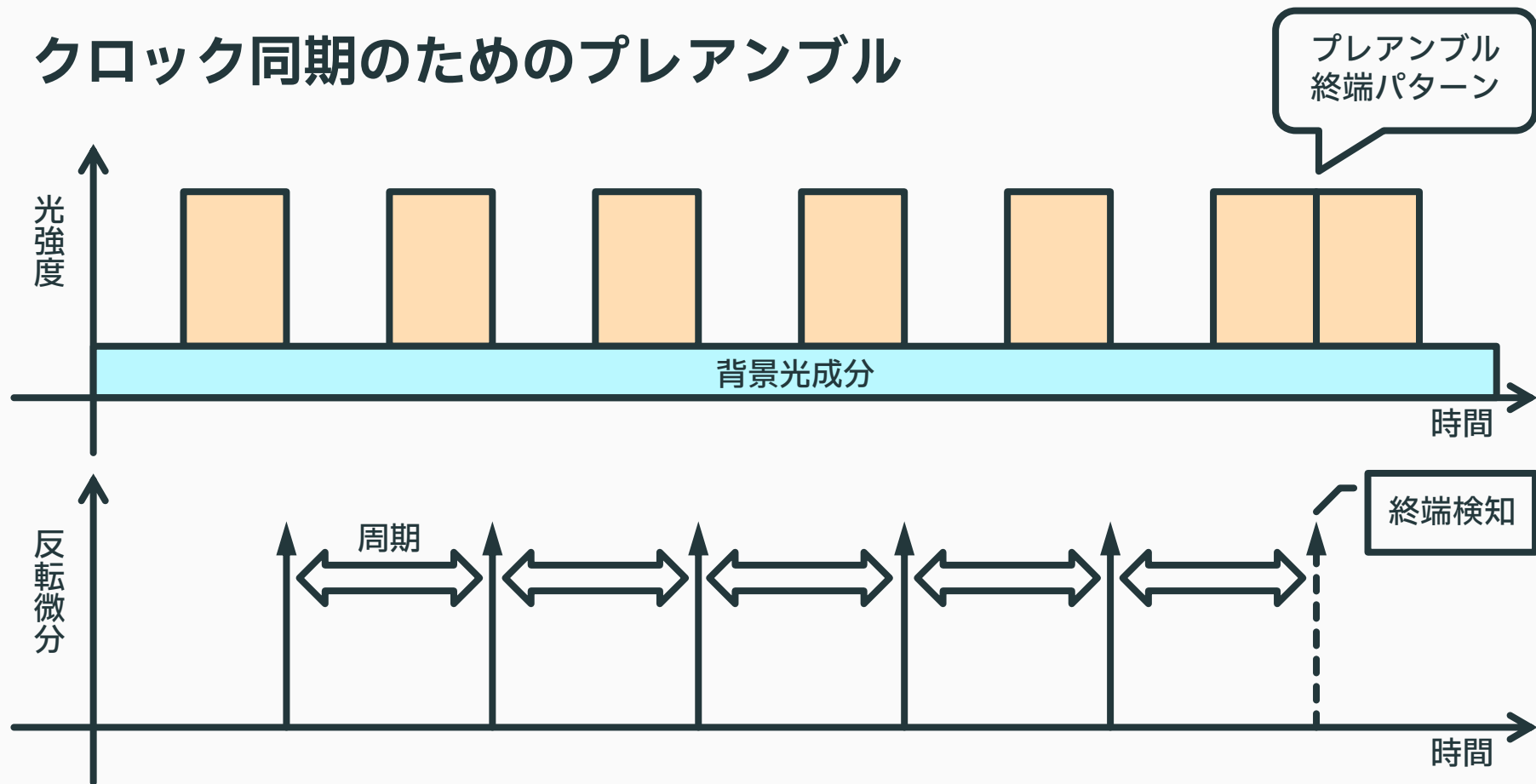


## LDM と CDM とを組み合わせた信号の例



# システム実装のための付加機能

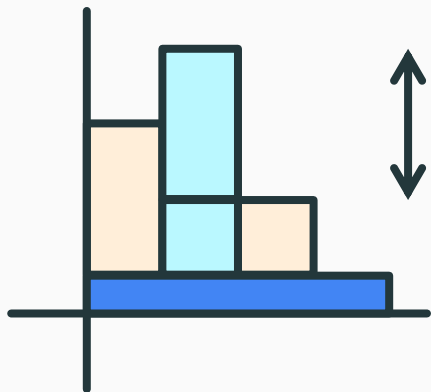
# クロック同期のためのプレアンブル



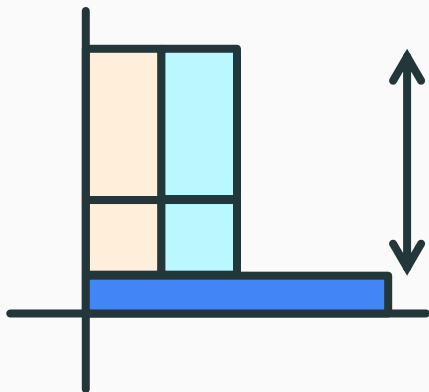
# 強度推定のためのプレアンブル

64 bit 程度の疑似データによるパターンを送信する

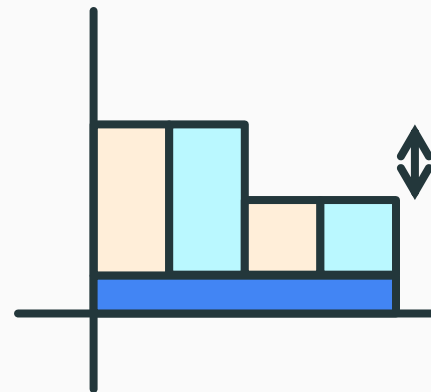
送信される信号のパターンによって大強度の推定信号強度が変化する  
適切な強度推定が行われるようなパターンである必要がある



適正推定



過大推定



過小推定

# データ通信中の同期ずれの補正

プレアンプルによるクロック周期の推定には誤差が含まれる

周期の誤差は時間の経過とともに蓄積する

→ 同期ずれが発生、通信不能に陥いる

受信機のクロックの時刻と受信信号の反転微分信号の時刻を比較

同期ずれがある場合、反転微分信号が早過ぎる・遅過ぎるように観測される

推定クロック周期の  $1/4$  以上のずれを検知

→ クロックの位相を調整してずれを補正



# システムの実装・実験

# システム構成

GF(2<sup>2</sup>) 上の MPSC を用いた同期 CDM (2 多重)

干渉除去方式として EWO 方式を用いる

LDM による多重化 (2 多重)

LED の輝度は抵抗を用いた電流制限によって制御

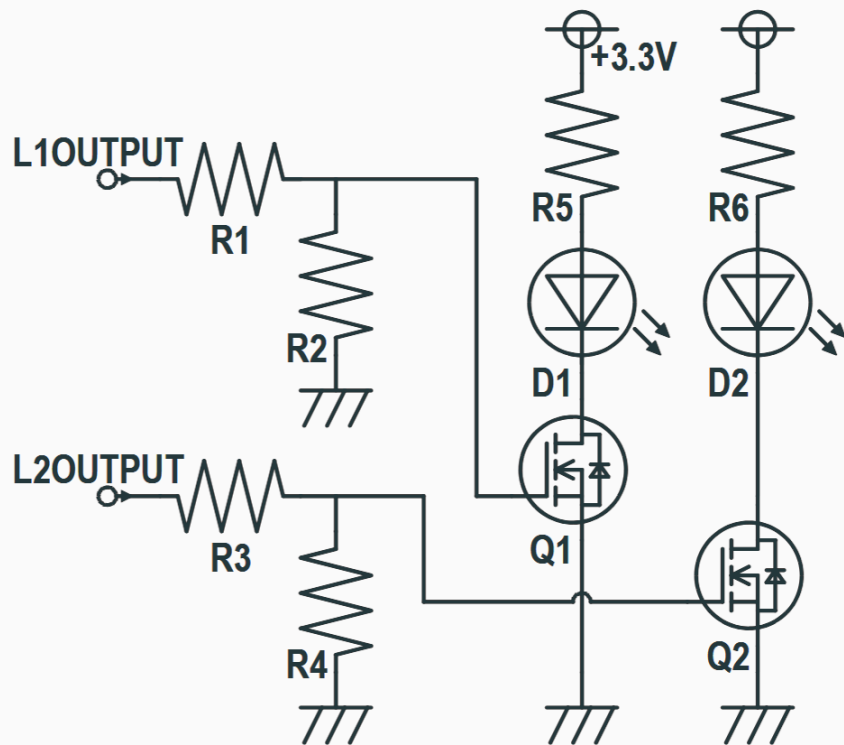
CDM による 2 多重、LDM による 2 多重による合計 4 多重

同時に 4 bit の情報を伝送する

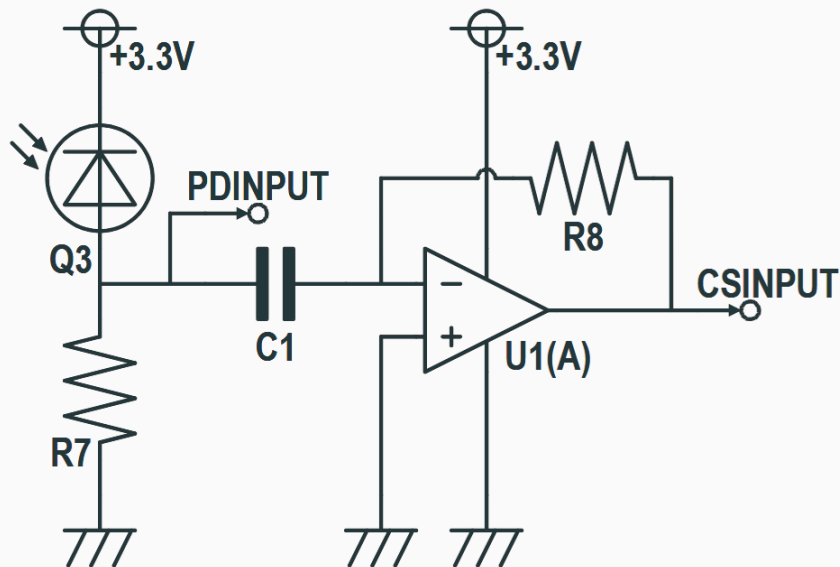
符号化や復号はマイクロコントローラ上のプログラムで処理

1 Hz から 4800 Hz まで任意のクロック速度を設定可能

# システムの回路図

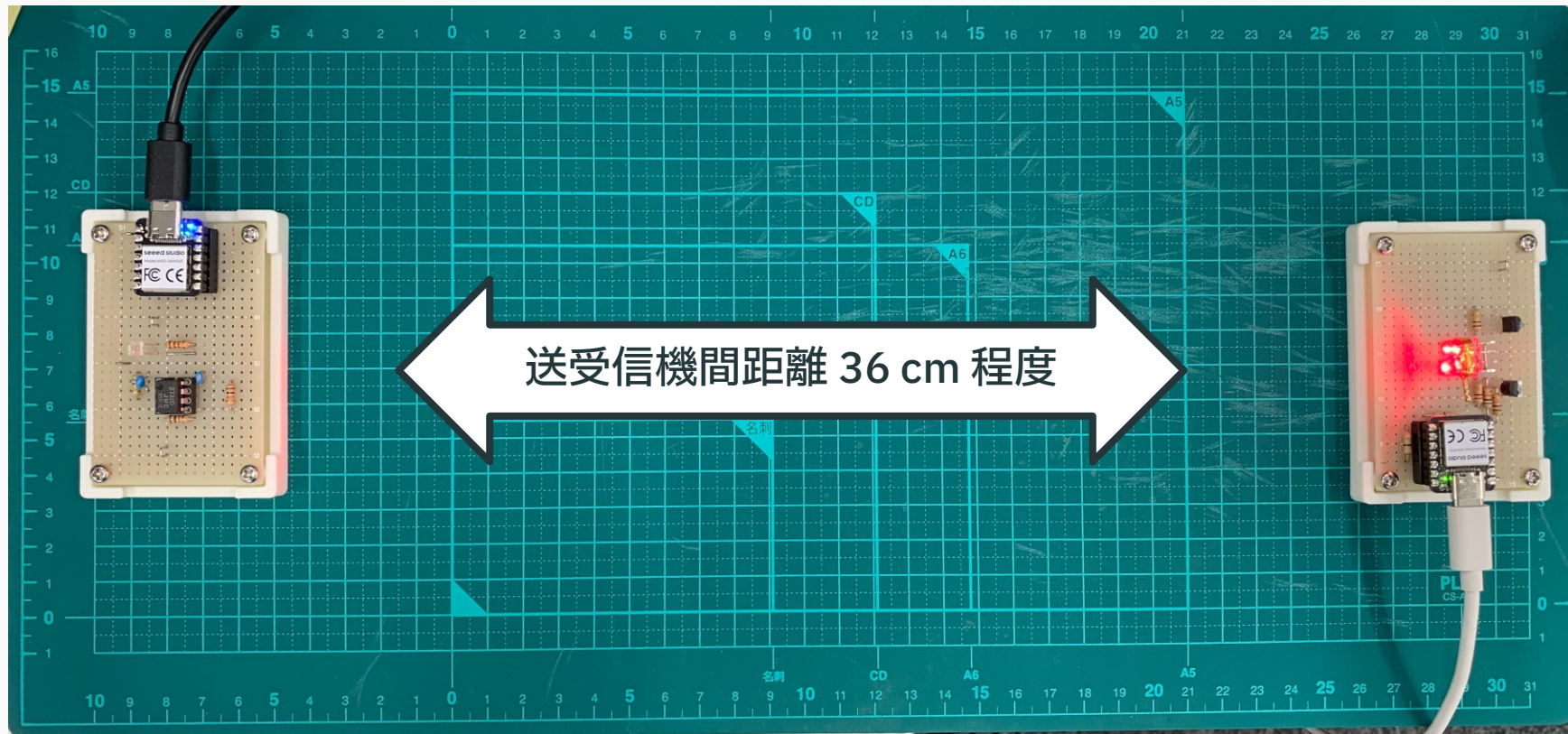


(a)



(b)

# システムの写真



# 通信している様子（簡単な文字列の送信）

動画を再生

# まとめ

# LDM と CDM とを用いた簡易可視光通信システム

可視光通信の通信方式として提案されている LDM と CDM  
これらを組み合わせた方式の簡易通信システムを実装した

データ送信に先立ってプレアンプルを送信  
送受信機間のクロックの同期  
信号強度の推定

データ送信中も同期ずれを補正  
推定クロック周期に誤差が含まれる場合にも対応可能

送受信機間を完全に分離した可視光通信を実現した