

# パケット型インデックス変調方式を用いた 差動化情報伝送

**福岡大学 工学部 電子情報工学科**  
**助教 太田 真衣**

2022年5月31日

# 背景1



IoT (Internet of Things) や  
M2M (Machine-to-Machine)  
への期待感

IoT:

様々なモノがインターネットに接続可能な世界の実現

IoTの特徴:

- 無線で繋がる
- 端末数が多い
- 定期的に情報収集(センサ情報)

## 背景2(IoTとLPWA)

IoT(Internet of Things)に適した無線通信システムの1つが、LPWA(Low Power Wide Area)システム

LPWAシステムの特徴:

- 低電力(低消費電力)
- 広域通信

→IoTとの親和性が高い

LPWAには、免許不要で利用できるLPWAと免許取得が必要なLPWAの2つに分けられる

- 本検討では、利用のしやすい免許不要LPWAを想定

## 背景3(免許不要LPWA)

- 免許不要で利用できるLPWAは、「特定小電力無線システム」に分類される
- 920MHz帯が利用可能
- 通信規格の代表例：
  - Sigfox
  - LoRaWAN
  - Wi-SUN

本検討では、シングルホップ通信を想定

## 背景4(特定小電力無線システム)

- 免許不要で利用可能
  - 920MHz帯が利用可能(広域通信可能な周波数)
  - キャリアセンスが必須
  - 通信時間比率の規定「Duty Cycle (DC)」  
＝通信休止時間と通信時間の割合
- 新検討: LowDC (LDC)
- LDCを満足すればキャリアセンスが不要
  - 例) 無線機あたり送信時間の総和: 36s/h
  - 連続送信時間の規定などあり

## 背景5(特定小電力無線の規定)

- 世界共通規定：
  - アンライセンス帯域は860MHz帯～920MHz帯などのサブギガ帯  
(利用可能な帯域は国によって多少異なる)
  - Duty Cycle (DC)の厳守
- 日本独自規定：
  - キャリアセンスが必須  
(特定小電力無線システムだから)  
→LDCにより、利用条件緩和が期待

# 従来の問題点1 (Duty Cycle)

簡単に言うと、

- 端末がある期間内に通信できる時間割合

もしくは、

- 端末があるチャネルにおいてある期間内に通信できる時間割合

膨大な端末が無線通信する中で、特定の端末のみが  
周波数資源を独占しないようにするための規定

||

連続通信や長時間の通信ができない

## 従来の問題点2(Duty Cycleによる弊害)

「連続通信や長時間の通信ができない」は、IoTやM2Mでは弊害にはならない

理由:

- 連続通信は範囲外  
=定期的に通信(情報収集)することや、特定のイベント発生時のアラートなどの利用を想定
- 長時間通信は不要  
=IoTやM2Mではセンサ情報の収集が目的で、1回の伝送情報量が多くない

とはいえ、**より多くのビットを送付できた方が嬉しい**

# 新技術の特徴1: パケット型インデックス変調 (Packet-Level Index Modulation)

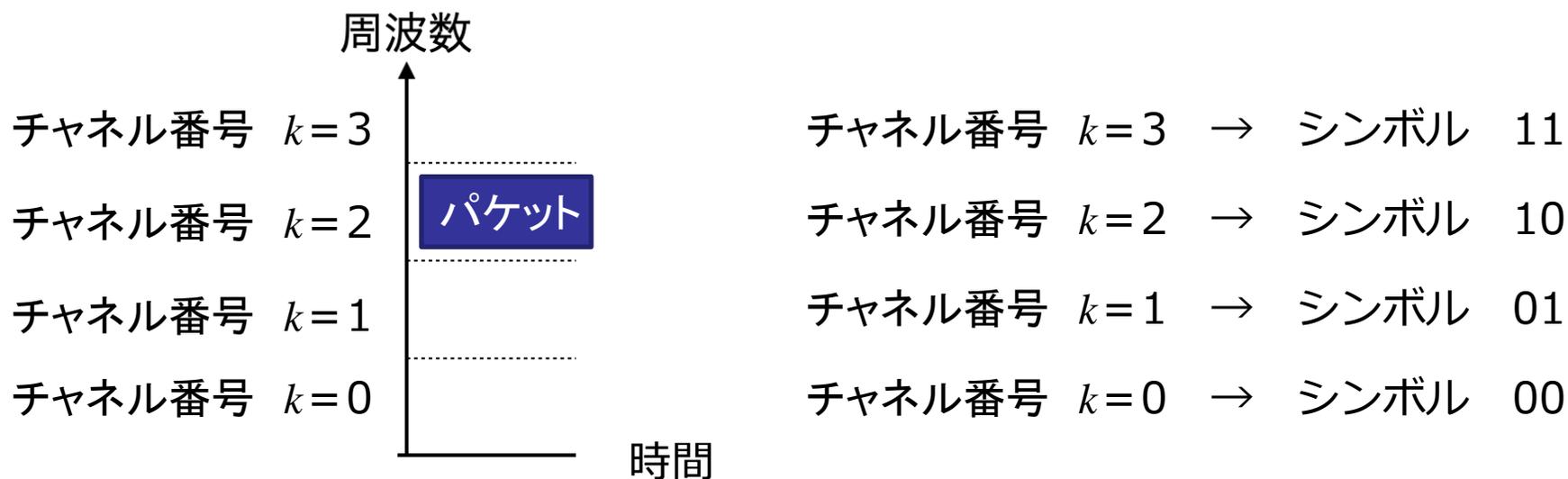
- パケットを伝送する際のチャンネル番号( $k$ )と時間スロット番号( $q$ )にシンボルを割当
- パケットが伝送されたチャンネル番号を時間スロット番号を受信側で検出することで、シンボルを復調

パケット1つで、パケット変調分 $+\alpha$ の情報を伝送可能

- インデックス = チャンネル番号と時間スロット番号
  - チャンネル数が4だった場合、2ビット(00、01、10、11)のシンボル伝送が可能
- パケット変調方式自体に変更がないため、  
実用化が容易

## 新技術の特徴2: PLIM

# (Packet-Level Index Modulation)



伝送ビット数に対して、冪乗のインデックス数を設定  
(2ビット) (2の2乗=4チャンネル)

例) チャンネル2で伝送されたことを検知→シンボル10

# PLIMと端末の性能

PLIMを実用化する上で、重要なポイント

- 時間同期の必要性

時間方向にもインデックスを設定する場合、インデックスの区切り(スロットの区切り)が送受信機間で同期されていない

- 安価な端末の時間精度

IoTなどでは大規模なネットワークが構成されるため、利用される端末は安価な構成(精度の低いオシレータ)＝時間のずれが発生

チャンネル数には限界があり、時間方向の活用が必要

# 従来法のPLIMにおける時間同期方法

- 一般的に、経過時間に比例して時間精度が劣化
- 一定時間経過後、時間同期用の信号を送信  
＝定期的に時間合わせ(相対時間の把握)のために、貴重なリソースを消費
  - 同期間隔と同期精度のトレードオフ  
同期用信号によるリソース消費を少なくするため、同期間隔を広げると、影響が拡大するおそれ
- 時間ずれを予想したマージンの確保  
端末毎にクロック精度が異なり、予測が難しい  
時間方向の冗長性を排除できない

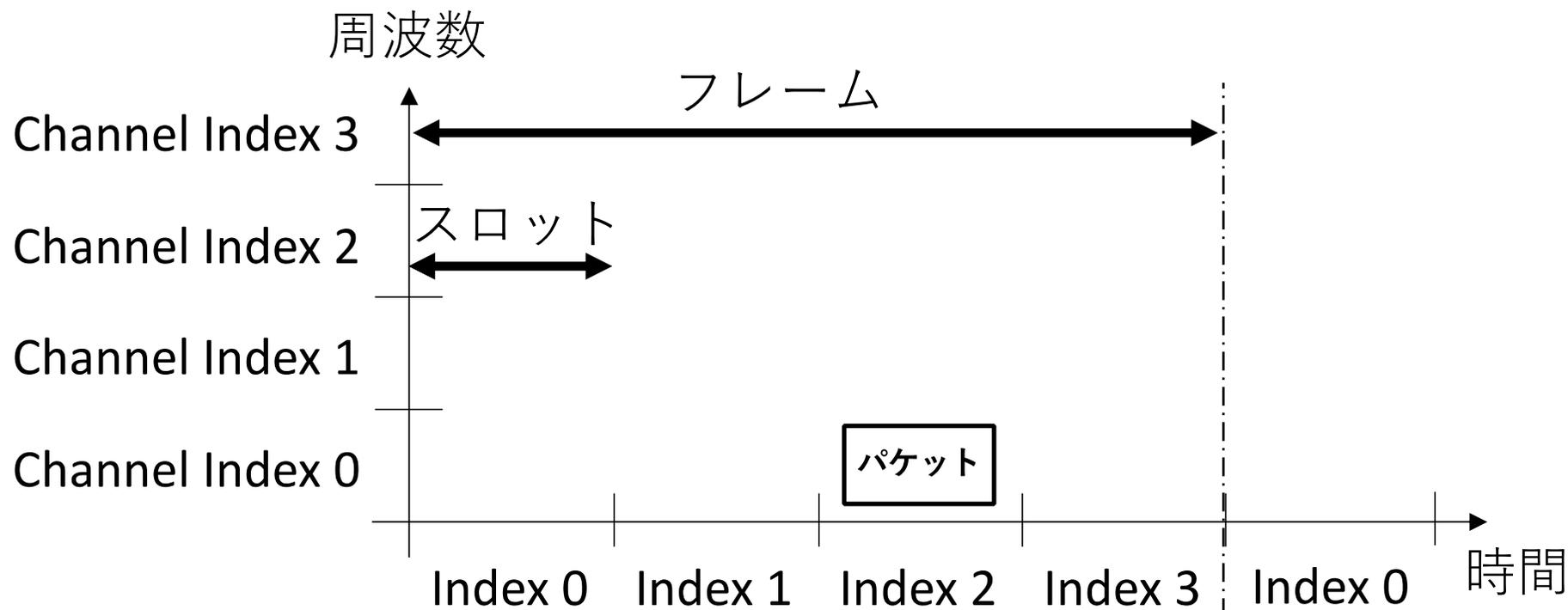
# 想定される用途：差動化PLIMを提案 IOT端末を安価に高速化可能

特徴：定期的な時間同期が不要

差動化PLIM (Differential-PLIM: D-PLIM) では、

- 従来の時間同期が不要でそのコストが削減可能
- クロック精度を考慮したマージン設計が不要  
(もしくはマージンを最低限に抑制可能)

# スロットのマーヅンを小さくする利点



同じフレーム長で比較する場合、

スロット長が短い＝スロット数が増える

→インデックス数を増やすことが可能＝PLIMビットを増加できる

# 想定される用途

- IoTやM2Mなどのセンサネットワークで、既存の変調方式を採用しつつ、デューティサイクルを満足などの制限がある中で、伝送ビット数を増加させる
- 時間同期などのコストがカットできる
- パケットではセンサ情報を伝送し、PLIMではセンサ位置情報などを伝送するなど、付加情報の伝送が可能
- 数パケットを組み合わせ、時間変動が緩やかなPLIM伝送を行うことで、伝送ビット数を増やすことも可能

# 実用化に向けた課題

- 現在、実機実装中で課題を探索中である。



# 企業への期待

- 本提案の情報伝送方法は、通信する情報が増え、コストも低減されるのであるが、できるだけチップ化することで、さらにコストが下がる可能性がある。このようなハードウェアの開発を期待したい。
- なお、本学には半導体研究所があり、実装の試作も可能であるので、その活用も併せて検討して頂きたい。

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 通信システム及び通信方法
- 出願番号 : 特願2021-174200
- 出願人 : 学校法人福岡大学、  
国立大学法人電気通信大学
- 発明者 : 太田 真衣、安達 宏一、  
藤井 威生、田久 修

本技術に係る研究開発は令和3年度総務省SCOPE(受付番号JP205004001)の委託を受けたものです。

# お問い合わせ先

**福岡大学 研究推進部 産学官連携センター**

**TEL 092-871-6631**

**FAX 092-866-2308**

**e-mail [sanchi@adm.fukuoka-u.ac.jp](mailto:sanchi@adm.fukuoka-u.ac.jp)**

# 付録

データー通信の技術者の方は、以下の説明をご覧ください。

変調と復調の原理を説明しています。

# 差動化PLIM伝送@送信機側

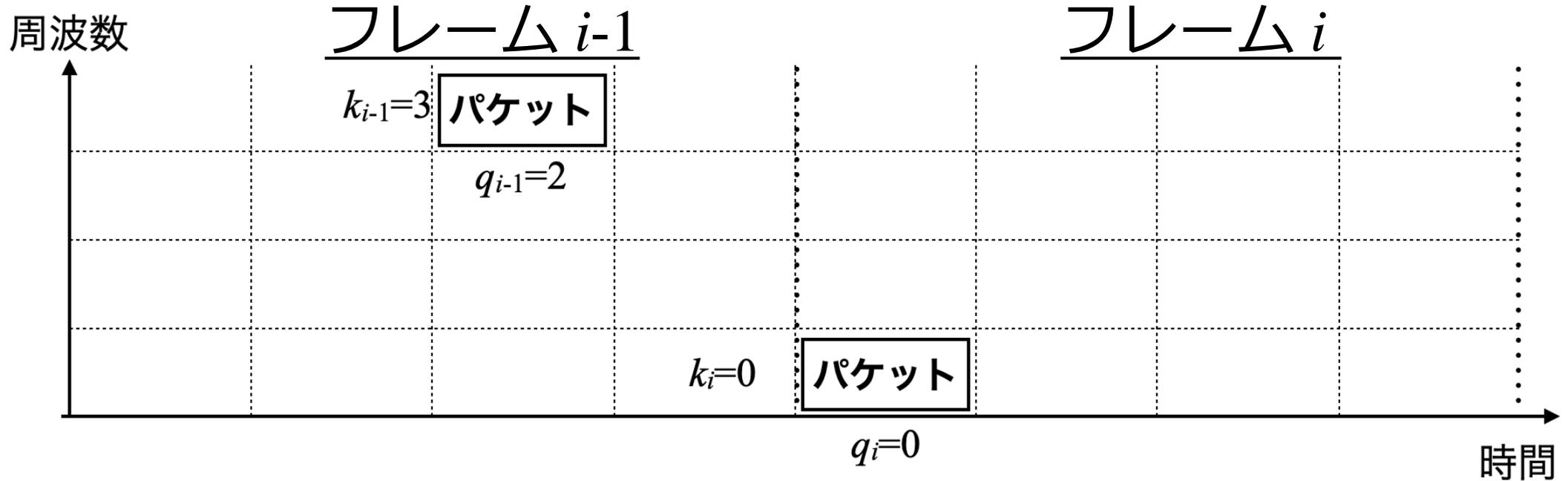
1. パケットを生成(パケット番号  $i$ )
2. PLIM伝送データ $D_i$ の上位ビットを $D_i^H$ , 下位ビットを $D_i^L$ とし, 次のフレーム $i$ で送信するパケットのインデックスを決定

$$\begin{cases} k_i = (D_i^H + k_{i-1}) \bmod K \\ q_i = (D_i^L + q_{i-1}) \bmod Q \end{cases}$$

ここで,  $k_{i-1}$ と $q_{i-1}$ はそれぞれ前の送信パケットのインデックス  
最初のパケットを送信する場合は, 適当なインデックスでパケットを送信(D-PLIMでは, 最初のパケットはPLIM伝送不可)

3. 決定したインデックスを用いて, パケットを送信
  - チャネルインデックス:  $k_i$
  - 送信タイミング: フレーム $i$ の $q_i$
4. 手順1から繰り返す

# 差動化PLIM変調例 ( $D_i = 01\ 10$ )



次元	チャネル	時間スロット
前のパケットのインデックス	$k_{i-1} = 3$ ( <u>11</u> )	$q_{i-1} = 2$ ( <u>10</u> )
次のパケットのインデックスの導出	$D_i$ の上位ビット + $k_{i-1}$ $= 01 + 11$ $= 4 \bmod K$ $= 00$	$D_i$ の下位ビット + $q_{i-1}$ $= 10 + 10$ $= 4 \bmod Q$ $= 00$
インデックス	$k_i = 0$	$q_i = 0$

# 差動化PLIM復調@受信機側

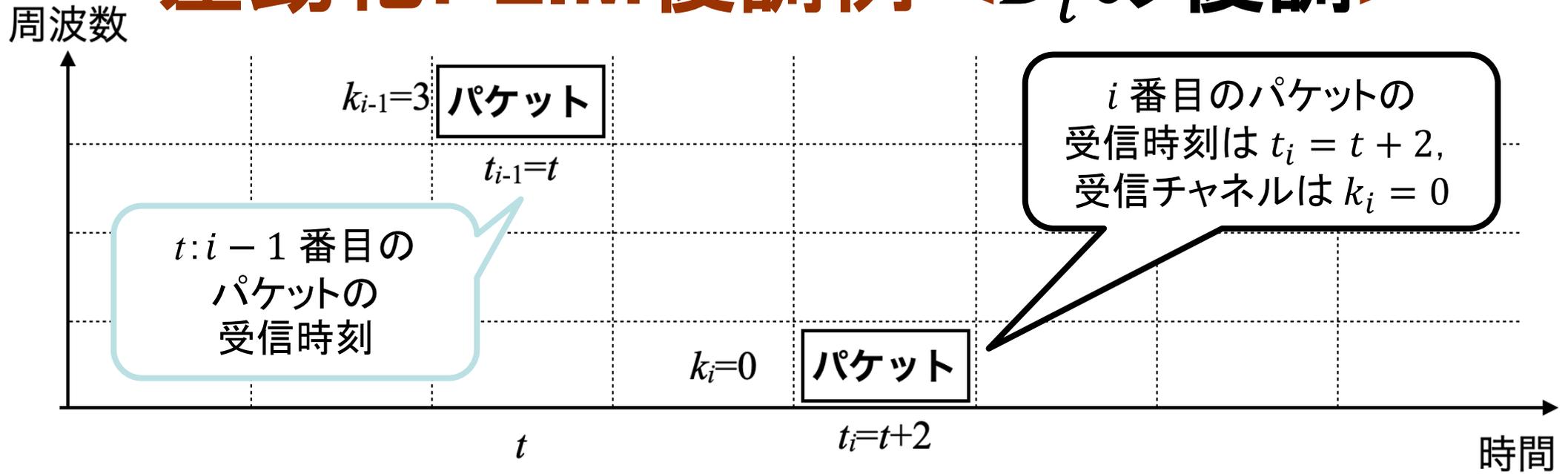
1. 全チャンネルで受信待機
2. パケットを受信後, ヘッダを復調し, 端末番号  $m$  とパケット番号  $i$  を確認
3. 端末  $m$  の  $i - 1$  番目のパケットの受信チャンネル ( $k_{i-1}$ ) と受信時間を ( $t_{i-1}$ ) データベースで確認
4. 受信パケットのチャンネル  $k_i$  と受信時刻  $t_i$  から, 受信PLIMデータ  $\widetilde{D}_i$  (上位ビット:  $\widetilde{D}_i^H$ , 下位ビット:  $\widetilde{D}_i^L$ ) を推定

$$\begin{cases} \widetilde{D}_i^H = (K + k_i - k_{i-1}) \bmod K \\ \widetilde{D}_i^L = \left\lfloor \frac{t_i - t_{i-1}}{T_{\text{slot}}} \right\rfloor \bmod Q \end{cases} \quad (\lfloor \cdot \rfloor : \text{床関数}, T_{\text{slot}} : \text{スロット長})$$

ただし,  $i - 1$  番目のパケットが受信できていなければ, 復調処理を行わない

5. 手順1から繰り返す

# 差動化PLIM復調例 < $D_i$ の復調>



次元	チャネル	時間
前の受信パケット	$k_{i-1} = 3$	$q_{i-1} = t$
次の受信パケット	$k_i = 0$	$q_i = t + 2$
D-PLIM伝送ビット	$D_i$ の上位ビット	$D_i$ の下位ビット
導出	$K + k_i - k_{i-1}$ $= K + 0 - 3$ $= 1 \text{ mod } K = 1$	$t_{i-1} - t_i$ $= (t + 2) - t$ $= 2 \text{ mod } Q = 2$
PLIMデータ	$\widetilde{D}_i^H = 01$	$\widetilde{D}_i^L = 10$

➡  $D_i = 01 \ 10$

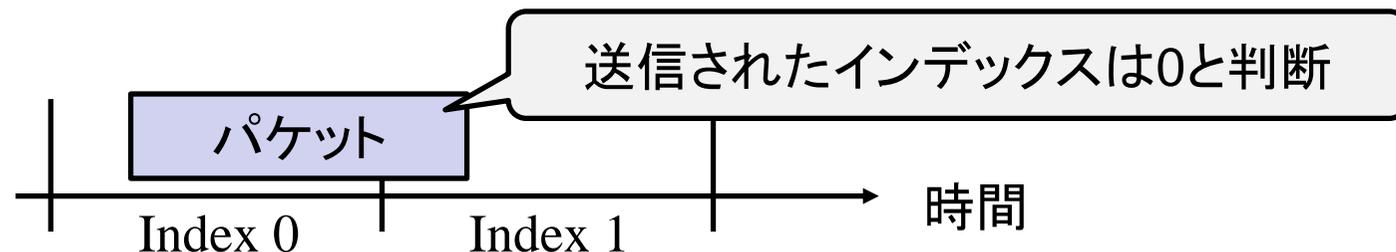
# 差動化PLIM方式の特徴

- 従来のPLIM方式と比べ、チャンネルと時間のインデックスの決定方法が異なる
  - 1つ前のパケット番号のパケットの各インデックスに基づき決定
- 特徴
  - 1つ前のパケットが受信できなかった場合、PLIM伝送データを復調することができない
- 利点
  - 1つ前のパケットを基準とするため、定期的な時間同期が不要
  - 1つ前のパケット受信時刻から、次のパケットを受信するまでの経過時間内で発生するクロックドリフトだけが復調誤りに影響

# シミュレーションパラメータ

試行回数	1,000
端末数	1
チャンネルスロット数	2
時間スロット数 (フレーム長)	32
ドリフト  (最初のパケットは ドリフトしていないと仮定)	経過時間に対して一定 例) パケット長 (=スロット長) に対して 1%の場合, 1スロット分の時間が経過する ごとに1/100スロット分ずれが発生

- 従来のPLIMの場合のインデックス検知方法
  - 受信パケットの割合が多い方を送信されたインデックス番号とする



- D-PLIMの場合
  - パケットの先頭同士で検出

# クロックドリフトの影響

