

ハムフェア2019 FX.25特集資料

JN1DFF

デモのセットアップ

430MHz帯(432.92MHz)
ダミーロードを使用



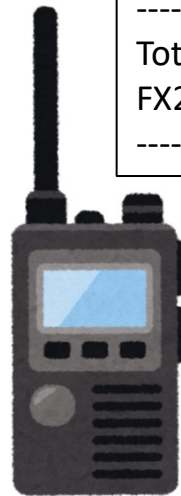
全送信パケットに対して受信出来た割(実測値)
AX.25での受信: 約56%
FX.25での受信: 約98%



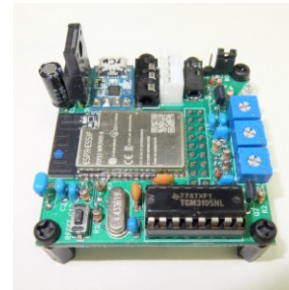
TNC



送信側



受信側



TNC

```
---- Statistics information ----  
Total: 13557 pkts, FX25: 13325 pkts, AX25: 7638 pkts,  
FX25%: 98%, AX25%: 56%, Tag err: 67, RS err: 139, FCS err: 0  
-----
```

```
COM6:115200baud - Tera Term VT  
ファイル(F) 編集(E) 設定(S) コントロール(C) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)  
7801450433000000000<0b  
FX25 info: tag error 9 bits, bit pattern: 000000000000077b  
FX25 info: detect tag, Tag_02, RS(144, 128)  
FX25:95:GFSK_LJ, JNIDFF-1, NBEX-1<03><f0>9GPRMC,015214,A,3409.1107,N,11806.8100,E,0  
0.1,24.9,231.116,18.5,E,1.0,07.0,0.0,0.0
```

無線LAN AP
SSID: FX25-KISS-TNC
Pass: prug2019
Telnet:IP 192.168.4.1, port 23
Web:http://192.168.4.1/

送信側でNRZI後にエラーを挿入
エラー率0.1%(1bitあたり)
バーストエラー長9bit(平均)

AX.25で誤り訂正無しで受信した結果と
FX.25で誤り訂正ありで受信した結果を
表示

デモ(2)

```
COM6:115200baud - Tera Term VT
ファイル(F) 編集(E) 設定(S) コントロール(O) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)
AX25:54:S3QRTX,JN1DFF-15,WB6JAR-10,WIDE1,N6EX-1:<03><f0>'--(!!X>/]"5']<0d>
FX25 info: detect tag, Tag_03, RS(80, 64)
FX25:54:S3QRTX,JN1DFF-15,WB6JAR-10,WIDE1,N6EX-1:<03><f0>'--(!!X>/]"5']<0d>
AX25:94:GPSLK,JN1DFF,N6EX-4:<03><f0>$GPGGA,020138,3350.5766,N,11755.8471,W,1,10,
0.9,50.0,M,-31.9,M,,*49<0d><0a>
FX25 info: detect tag, Tag_02, RS(144, 128)
FX25:94:GPSLK,JN1DFF,N6EX-4:<03><f0>$GPGGA,020138,3350.5766,N,11755.8471,W,1,10,
0.9,50.0,M,-31.9,M,,*49<0d><0a>
FX25 info: detect tag, Tag_02, RS(144, 128)
FX25:89:APT311,JN1DFF-1,WA6YLB-4,N6EX-2,WB6JAR-10,WIDE3:<03><f0>/230201z3507.05N
/11813.51Wk250/0817A-00346T
FX25 info: 3 error(s) corrected
FX25 info: error correction: No.1, e(64) = 50
FX25 info: error correction: No.2, e(65) = 17
FX25 info: error correction: No.3, e(78) = 90
FX25 info: detect tag, Tag_02, RS(144, 128)
FX25:80:APRS,JN1DFF-2,N6EX-4:<03><f0>;LA LOAD *221001z3352.18N#11749.77W? 121 I
n 10 Minutes
FX25 info: 1 error(s) corrected
FX25 info: error correction: No.1, e(52) = 05
----- Statistics information -----
Total: 1595 pkts, FX25: 1570 pkts, AX25: 913 pkts, FX25%: 98%, AX25%: 57%, Tag e
rr: 4, RS err: 18, FCS err: 0
```

送信
パケット数

誤り訂正

受信率

受信パケット数

FX.25の特長

- AX.25と互換性を保ちつつ、誤り訂正符号を追加
- FX.25のデータ部分にbit stuffingしたAX.25の packets を埋め込んでいる
- 送信される packet 中にAX.25の packet と同一のビットパターンが現れる
- packet の検出に64bitの同期符号を採用
- 誤り訂正にはリードソロモン符号を採用

リード・ソロモン符号

- コンパクトディスクやデジタルテレビ放送、QRコード等で採用されている誤り訂正符号
- ブロック符号のため符号長は固定
 - FX.25では255バイト
 - 一部を0で埋めた短縮符号も定義(48/80/144バイト)
- 誤り訂正符号長の半分までの誤りを訂正可能
 - FX.25では訂正符号長は16/32/64バイト
- バイト単位での訂正なのでバーストエラーに比較的強い



FX.25 KISS TNCの特長

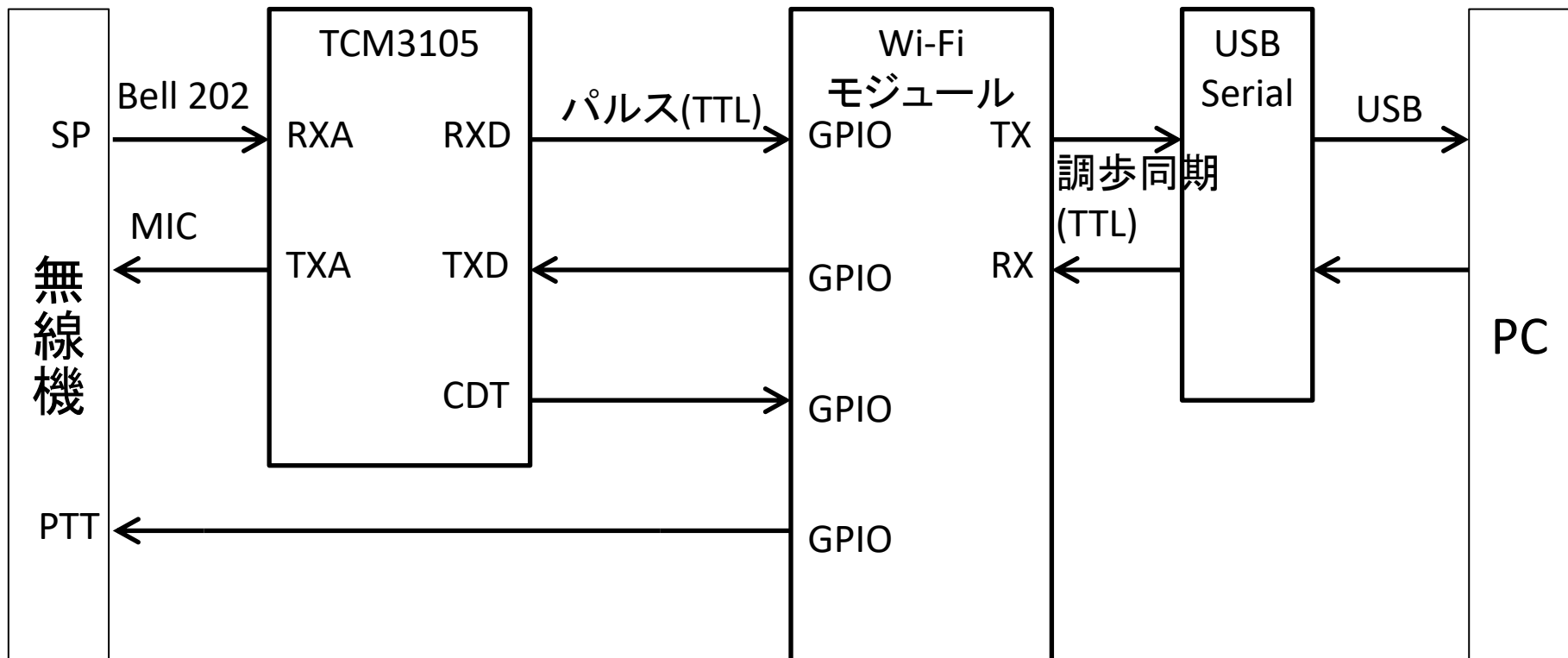
- モデムチップはTCM3105
- CPUはWi-FiモジュールESP-WROOM-32
 - Dual core RISC CPU, clock 80~240MHz, FPU
 - RAM 520kB, flash ROM 4MB
- PCとのI/FはUSBシリアル、電源もUSBで供給
- KISSモード専用
- 最大パケットサイズは1kB
- AX.25パケットの受信も可能



ハードウェアの構成

- モデムチップはTCM3105を使用
- CPUはESP-WROOM-32を使用
 - 32bit dual core RISC CPU, clock 80～240MHz, FPU
 - RAM 520kB, フラッシュROM 4MB
 - 多数の周辺機器
 - Wi-Fi, BT, ADC, DAC, I2C, SPI, I2S, 赤外線リモコンI/F, etc.
- PCとの通信はUSBシリアルを使用
- 電源はUSBで供給

FX.25 KISS TNCブロック図

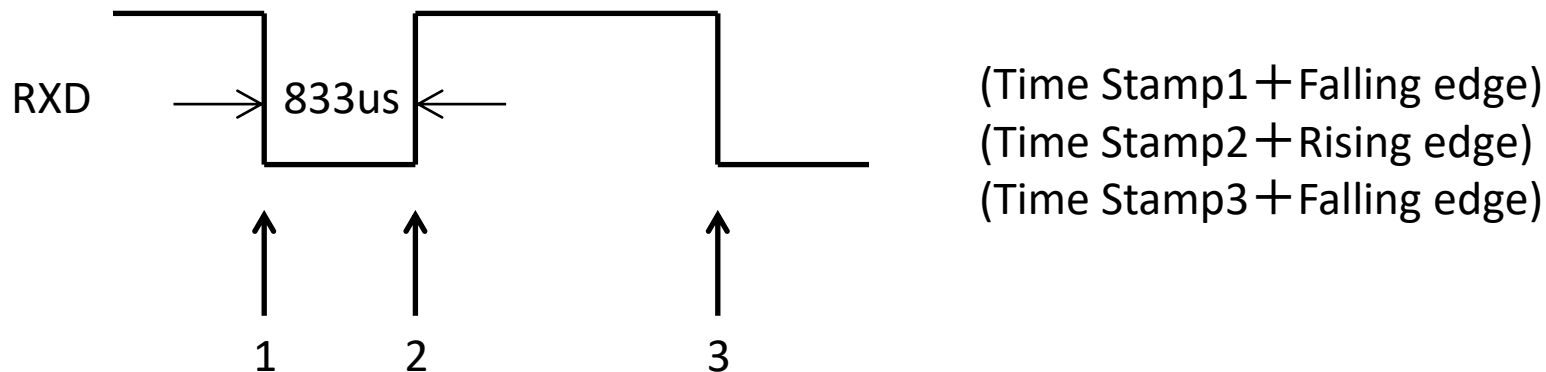


ソフトウェアの構成

- C言語で記述
- FreeRTOS上で動作
- 各処理はタスクとして実装
- タスク間の通信は主にキュー(FIFO)を使用
- モデムチップからのデータの読み込みは割り込み
- モデムチップへのデータの送信は赤外線リモコンのインターフェースを使用

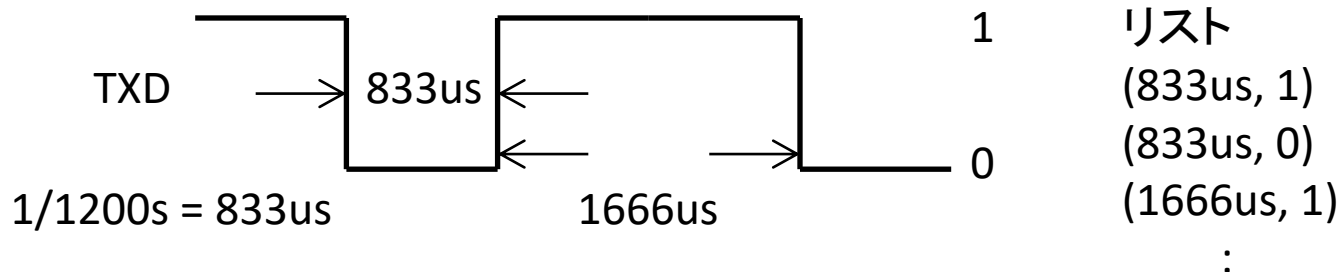
モデムデータの読み取り

- TCM3105のRXD端子の変化の時刻を割り込みで取得する
- エッジの変化した時刻の記録はハードウェアが自動で行う(WiFiモジュールの機能)
- 時刻の精度は12.5ns(80MHz)単位



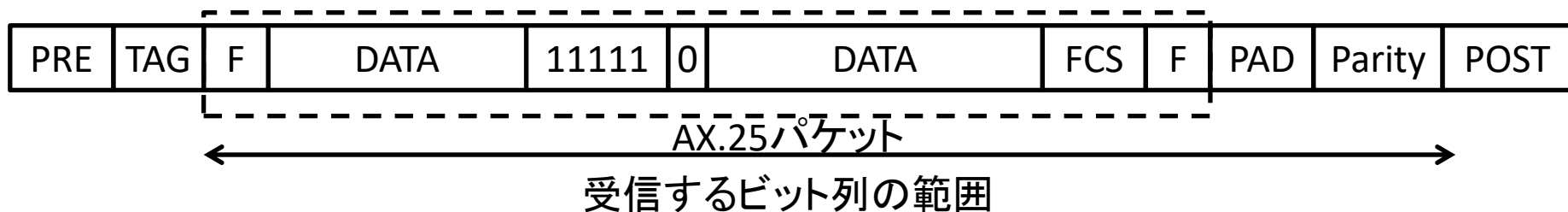
モデムへのデータ送信

- 赤外線リモコン用のI/Fを利用
- パルスの幅と極性(0/1)を記述したリストをAPIに渡すとI/Oに指定されたパルス列が現れる
- 指定できる時間精度は12.5ns(80MHz)
- パルス列の長さは無制限(メモリの制限のみ)
- 送信はDMAにより行われCPU負荷は無し



FX.25受信パケットの処理

- 64bitのTagの受信を待つ
- Tagの種類からパケット長を求める
- パケット長分のビット列を受信する
- 受信ビット列内のAX.25パケットを検出・・・(1)
 - start/endフラグの検出、bit stuffingの解除
 - CRCを計算しFCSと一致すればデータを出力、終了
- リード・ソロモン符号による誤り訂正を行う
 - エラーが発生すればパケットを破棄
 - (1)に戻って再度AX.25パケットの検出を行う



Tagの一覧

Tag_00	0x566ED2717946107E	Reserved
Tag_01	0xB74DB7DF8A532F3E	RS(255, 239) 16-byte check value, 239 information bytes
Tag_02	0x26FF60A600CC8FDE	RS(144, 128) – shortened RS(255, 239), 128 info bytes
Tag_03	0xC7DC0508F3D9B09E	RS(80, 64) – shortened RS(255, 239), 64 info bytes
Tag_04	0x8F056EB4369660EE	RS(48, 32) – shortened RS(255, 239), 32 info bytes
Tag_05	0x6E260B1AC5835FAE	RS(255, 223) 32-byte check value, 223 information bytes
Tag_06	0xFF94DC634F1CFF4E	RS(160, 128) – shortened RS(255, 223), 128 info bytes
Tag_07	0x1EB7B9CDBC09C00E	RS(96, 64) – shortened RS(255, 223), 64 info bytes
Tag_08	0xDBF869BD2DBB177E	RS(64, 32) – shortened RS(255, 223), 32 info bytes
Tag_09	0x3ADB0C13DEAE283E	RS(255, 191) 64-byte check value, 191 information bytes
Tag_0A	0xAB69DB6A543188D6	RS(192, 128) – shortened RS(255, 191), 128 info bytes
Tag_0B	0x4A4ABEC4A724B79E	RS(128, 64) – shortened RS(255, 191), 64 info bytes
Tag_0C	0x0293D578626B67E6	RS(255, 239) × 2, 478 information bytes
Tag_0D	0xE3B0B0D6917E58A6	RS(255, 239) × 3, 717 information bytes
Tag_0E	0x720267AF1BE1F84E	RS(255, 239) × 4, 956 information bytes
Tag_0F	0x93210201E8F4C70E	RS(255, 239) × 5, 1195 information bytes

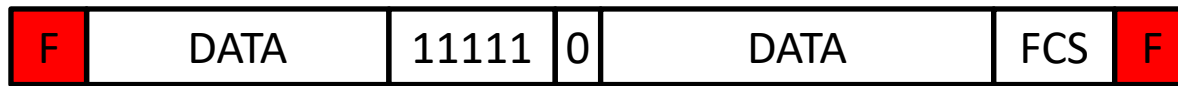
FX.25から拡張

Tag_10 thru Tag_3F Undefined

Tag_40 0x41C246CB5DE62A7E Reserved

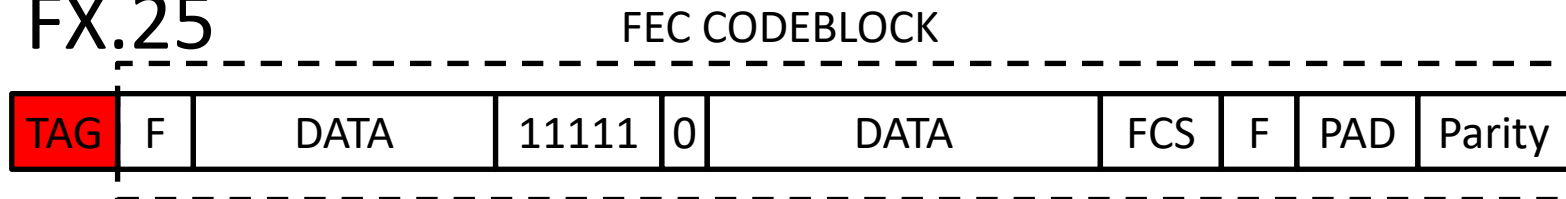
パケット受信方法の違い

- AX.25



- フラグでパケットを検出、パケットは可変長
- 1ビットでもエラーがあると受信失敗

- FX.25



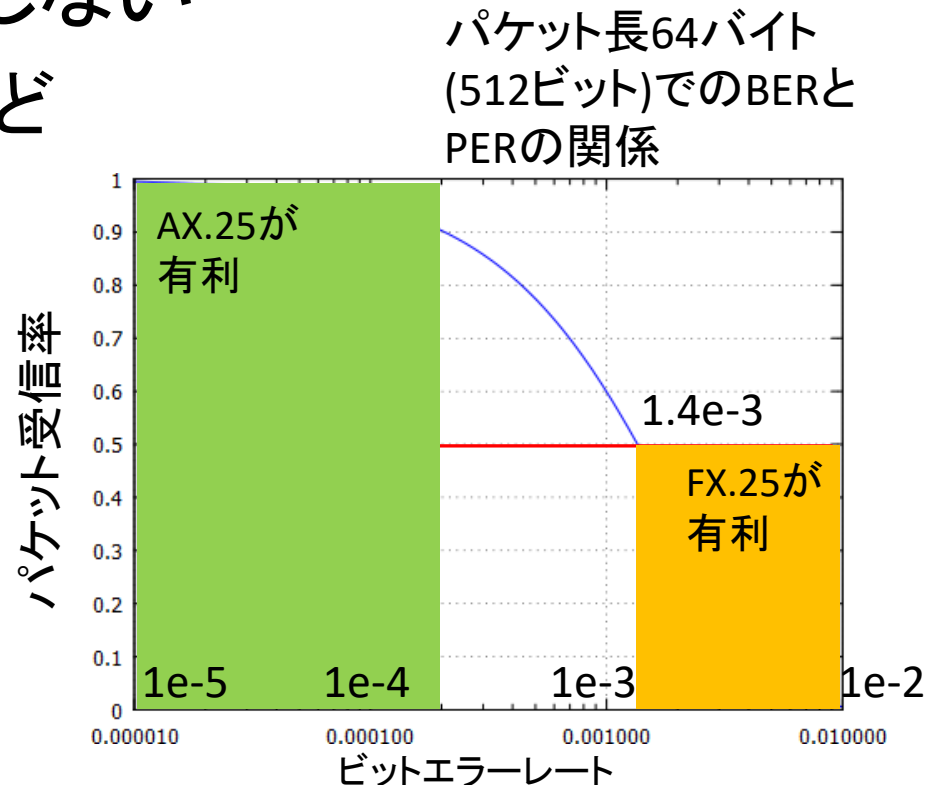
- Tagでパケット検出、パケットは固定長
- FEC CODEBLOCK内のエラーは訂正可能
- Tagにもエラーを許容することが必要

FX.25のオーバーヘッド

- Tag 64bit=8byte
- 情報部分が固定長(239,128,64,32byte)
- 訂正符号(16,32,64byte)
- preamble,postamble(4+2byte)
- 増加分
 - 固定増加分: $8+16+4+6=34$ byte
 - データ部分は固定長へ切り上げ: 平均1.5倍
 - 合計: 元のデータの1.5倍+34byte ~ 2倍程度

FX.25が有効な条件

- BERが高い→パケット受信率で0.5以下
 - データ長64バイトではBERが $1.4e-3$ 以上
- RTTが長くARQが機能しない
 - 人工衛星/宇宙通信など
- 一方向の通信(放送?)
 - APRSのビーコン



FX.25での受信失敗の原因

- Tagの検出失敗
 - Tagに8ビットを越えるエラーが含まれていると、Tagが検出できずパケットをロスする
 - エラーを許容するビット数を増やすと検出失敗は減少するが、誤検出が増える(トレードオフ)
- リード・ソロモン符号での訂正失敗
 - RS符号は訂正符号長の半分までの誤りは訂正可能、半分以上を越えると誤り訂正は失敗する
 - エラーレートが高い場合はパケット長を短くするか、訂正符号を増やすことが必要

Tagの誤検出の影響

- Tagのビットエラーによる見落とし



- Tagを見落とすと、パケット本体が受信されずパケットを落とす

- Tag以外をTagとして誤検出

この範囲を誤ってパケットとして処理



- Tagを誤検出すると後続のパケットの一部が欠け、パケットを落とす

Tagの許容エラービット数の決定

- FX.25では64bitのTagでパケットを検出する
- Tagのビットエラーを考慮する必要がある
- 何ビットまでのエラーを許すかで、パケットの見落としと誤検出の割合が影響される
 - Tag_01～Tag_0F(15個)検出の場合
 - エラービット数8bit→誤検出率 約 10^{-6} (現在の値)
 - 1200bpsだと約14分に1回の誤検出が起こる計算
 - エラービット数9bit→誤検出率 約 10^{-5}
SRLL(東工大船田氏開発、32bit中3bitエラー)と同等
 - エラービット数10bit→誤検出率 約 10^{-4}

今後の予定

- ソフトウェアモデムの実装
- 統計的な手法を用いたパケットの抽出
 - エッジ情報の活用
- AX.25のFCSを利用した誤り訂正の検討
 - 1bitエラーの仮定のもと、エラービットを特定
 - BER $1e-3$, パケット長512bitの場合、60%→91%へ改善
- FX.25プロトコルの改良
 - FX.25からpaddingを削除し、符号化効率を上げる
 - FX.25の符号長255バイト制限を無くす