

# モデム技術の発展\*

田中 克範

## 1 はじめに

インターネットの個人利用者が急増しています。これには PPP や SLIP のようなプロトコルの開発が重要だとされ、モデムの発達にはあまり言及されないように見えますが、これは通信容量を物理的に規定する重要な技術です。その発展を概観する意義はありそうです。

## 2 性能の向上

通信容量 シャノンの回線容量の式  $C = W \log_2(1 + \frac{S}{N})$  [bit/s] によれば、電話回線の理論的な容量は  $3 \times 10^4$  [bit/s] 程度ということになります<sup>1</sup>。もっとも高速なモデムの規格 V.34 の伝送速度は 28800 [bit/s] ですから、理論的には高速化の上限にほぼ達しているといえるでしょう。同時に双方向の通信も可能になっています。

エラー訂正・データ圧縮 高速化にともなってエラー訂正の必要が生じ、プロトコル内蔵モデム<sup>2</sup>が開発されました。また、冗長なデータを圧縮する技術によって、伝送できる情報量は MNP5 で 2 倍、V.42bis で 4 倍に拡大されています。V.42bis と V.34 との組み合わせでは最高 100 [kbit/s] を超えるスループットが得られます。

## 3 技術的背景

変調・復調 初期のモデム<sup>3</sup>はテレタイプと同様の周波数シフトキーイングを採用していました。やがて高速化

のために位相変調<sup>4</sup>が採用され、1980年代半ばからは直交振幅変調が使われるようになっていきます。

トレリス符号化 トレリス符号化<sup>5</sup>は変調する前の信号に冗長性をもたせるようにエンコードするものです。こうすることによって受信側でエラーの検出と訂正ができ、最近の高速モデムに不可欠なものとなっています。

その他の通信技術 長距離電話回線などで使われてきたエコーキャンセラは同一の帯域内での全二重伝送を可能にしました。また、接続直後にテスト信号を発生して回線の状態に応じた特性をつくる回線プロービングは一種の適応等価器として機能するものであり、波形歪の防止に役立っています。

半導体素子 これらを現実のものとしたのが半導体素子であることは言うまでもありません。とりわけ最近の信号処理に貢献したのが DSP でした。これなしに複雑で高速な信号処理をおこなうことはできなかったといっても過言ではないでしょう。

## 4 むすび

上述のように、モデムはいくつかの技術をとりいれて発達し、その性能はほぼ限界に達していますが、個人利用者にとって当分はモデムによる通信が主流であり続けることでしょう。DTE 転送速度やアナログ的な特性の改善といった地味な改良が今後の課題となり、モデム技術は成熟していくものと思われます。

\*1995年7月17日

<sup>1</sup> 帯域幅  $W \approx 3$  [kHz], 信号対雑音比  $S/N \approx 10^3$  として。

<sup>2</sup> 最初の MNP モデム発売は 1984 年。

<sup>3</sup> 規格としては 1964 年成立の V.21, V.23 など。

<sup>4</sup> 1968 年成立の V.26, 1980 年成立の V.22 など。

<sup>5</sup> Andrew J.Viterbi and Jim K.Omura, *Principles of Digital Communication and Coding*, McGraw-Hill (1979), chapter 4.