

高性能デジタルテレメータシステムの構築に関する研究

黒川 不二雄*・竹田 仰*
松尾 博文*Study on the Construction of the Digital Telemetry System
with High-Performance Characteristics

by

Fujio KUROKAWA*, Takashi TAKEDA*
and Hirofumi MATSUO*

A new digital telemetry system for monitoring the liquid surface level is presented to realize the high-performance system with very low power consumption and high reliability. In the proposed system, the electric power is supplied to each circuit from the battery during only the operating time interval when the signals are measured, processed and transmitted. During the waiting time interval, the main switch is in off-state and the power consumption of this system can be disregarded. The circuit configuration of the new digital telemetry system is described first. Next, the power consumption characteristics are analyzed and compared on the conventional and new systems. As a result, it is clearly demonstrated that the new system is superior to the conventional one and can be used for five years or more without the maintenance of the battery. Further, it is clarified that the simpler method for the error correcting code can be used in the new system.

1. まえがき

近年、工業分野はもとより、水産業、農業、気象観測（災害予知）等の分野においては、複数のセンサにより得られた情報を計測点から比較的離れた地点に電波により伝送するテレメータシステムが注目されている。一般に、テレメータシステムは温度、経年変化および伝送路雑音等に強いデジタル方式を採用しており、センサ部、A/D変換部、演算処理部、送受信部および電源部より構成されている。また、電源としては電池が用いられており、設置条件の都合により、通常、3～5年間はメンテナンスフリーで使用されることが強く望まれている。そのため、従来の方式では、

計測およびデータの伝送を一定周期で行い、待機の間には演算処理部のタイマ機能の回路にのみ電池から電力を供給し、他の回路には電力を供給しない方法によりシステムの低消費電力化を計っている¹⁾。しかし、計測およびデータ伝送に要する時間よりも待機時間の方が通常は長いので、待機時の電力消費はシステムに用いられる電池の寿命に大きな影響を与えている。

本論文では、この問題を解決するために、計測・伝送の動作時にのみ電池から電力が供給され、待機時には全ての回路への電力供給を行わない低消費電力形の高性能デジタルテレメータシステムを提案し、その消費電力特性を明らかにする。また、提案した方式と

平成3年4月30日受理

*電気情報工学科 (Department of Electrical Engineering and Computer Science)

従来の方式との電力消費についての比較を行う。その結果、提案した方式によれば、待機時に電池の電力をほとんど消費しないシステム構成となっているため、メンテナンスフリーで5年以上の長期間の使用が可能であることが分かった。また、本システムでは計測値が変化した時だけ子局から親局へデータ伝送を行うため、親局では送られてくるデータの予測が容易である。このような理由で、伝送フォーマットには簡単なパリティチェックを施すだけで、伝送路雑音に対して十分高い信頼性が確保できるシステムが実現できることを示した。

2. システム構成

Fig. 1は低消費電力形デジタルテレメータシステムの基本構成図である。図ではテレメータシステムの最も基本的でよく利用される形態として、親局が1局に対して子局が1局の場合を示している。親局は送受信部、演算処理部、表示部および記録部により、また子局はセンサ部、A/D変換部、演算処理部、送受信部および電源部より構成されている。

本論文ではFig. 1のシステムを水量や油量に対応した液面のレベルの監視に用いる場合について検討する。

Fig. 1において、センサ部は液面レベル検出部と電源をオン、オフするためのスイッチ回路より構成されている。液面レベルの変動によりフロートに取り付けられたワイヤが動くとき、電源のスイッチ回路はその変

化を検知し、電源部に起動信号 S_1 を送る。電源が起動すると、液面レベル検出部ではワイヤの変動分をポテンショメータにより抵抗に変換し、さらに抵抗分圧器により電圧に変換する。A/D変換部はこの電圧および電池の電圧をデジタル量に換え、演算処理部に送る。演算処理部で、サイクリック・デジタル伝送フォーマット¹⁾を整え、送受信部よりデータを送信する。親局がデータを受信したことを確認するための信号を発信すると、子局の演算処理部はその信号を確認し、その後、電源部に信号 S_2 を送る。この信号 S_2 により、子局の電源は遮断され、電力消費量はほとんど零になる。この状態は、液面レベルが任意の値だけ変化し、電源のスイッチ回路が信号 S_1 を次に出すまで保持される。

このように子局の電源は液面レベルが変動した時だけオンになり、親局にデータを伝送する。この場合、本システムでは伝送するデータ量の変化は親局で予測できるため、伝送フォーマットには簡単なパリティチェックを挿入するだけでデータの信頼性は確保でき、演算処理時間および伝送時間が短縮される。このため、Fig. 1のシステムでは電力の低消費化が期待できる。

3. システム各部の動作

ここでは、Fig. 1の子局の各構成回路部とその動作について説明する。

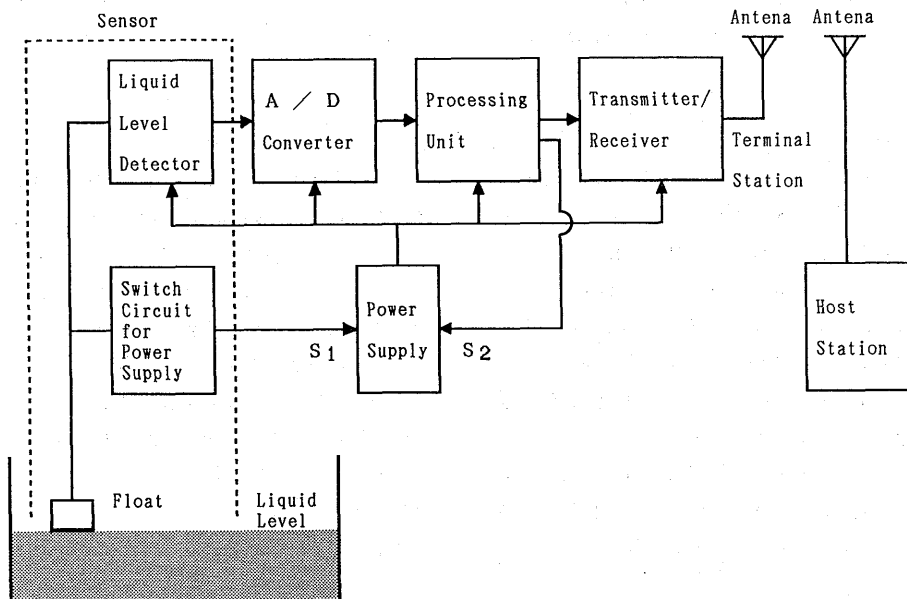


Fig. 1 System configuration.

3. 1 センサ部 (Sensor)

センサ部はFig. 1に示したように液面のレベル検出部と電源をオン、オフするためのスイッチ回路より成っている。液面レベルの変動によりフロートに取り付けられたワイヤが液面レベル検出部と電源のスイッチ回路の軸を回転させる。液面レベル検出部では、軸の回転はポテンシオメータに伝えられ、ポテンシオメータの抵抗値が変化する。この抵抗値の変化は電源投入後、電圧に変換され、A/D変換器に送られる。

電源のスイッチ回路では、Fig. 2の回転円板に取り付けられた永久磁石の回転によりその通過時にリードスイッチ S_w がオンとなり、信号 S_1 が電源部へ送られる。

3. 2 A/D変換部 (A/D Converter)

A/D変換部は、逐次比較形コンデンサ・ラダー方式の8ビットA/Dコンバータ (MSM5204RS)、分周カウンタICおよびアナログスイッチICの3つのCMOS ICで構成されている。分周カウンタICは演算処理部よ

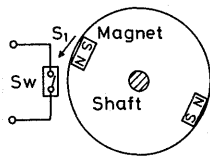


Fig. 2 Switch circuit for the power supply.

りの4 MHzのクロック信号を10分周し、400kHzにすることにより、A/Dコンバータのクロックとして使用可能にしている。このため、A/Dコンバータは $82.5\mu\text{sec.} (= 1 / 400\text{kHz} \times 33\text{サイクル})$ の変換時間を必要とする。また、アナログスイッチICを用いて入力信号を切り換えることにより、液面のレベルと電池の電圧の2つのデータを検出している。従って、ここで処理時間は $200\mu\text{sec.}$ を要する。

3. 3 演算処理部 (Processing Unit)

Fig. 3に示したように演算処理部は、CPU、カウンタ・タイマ回路、シリアルI/Oポート、パラレルI/Oポート、ROM、RAM、クロック回路およびリセット回路より成る。これらの回路は全てCMOS ICで構成され、消費電力の低減が計られている。タイマクロック回路は親局との通信のためのシリアルI/Oポートのデータ信号速度の設定に使用されている。ここでは、データ信号速度は9600ビット/秒である。シリアルI/Oポートはデータのシリアル通信をRS232C規格で行っている。また、パラレルI/Oポートは電源部への信号 S_2 を伝達するためおよびセンサ部と電源部の増設時に用いられる。プログラムはROMのメモリ番地 0000_{H} から 1FFF_{H} に書き込まれている。ワークエリアとしてはRAMの 8000_{H} から 9FFF_{H} が用いられる。また、リセット回路は電源投入時に、CPUに始動のためのリセット信号を送るためのものであり、積分回路に

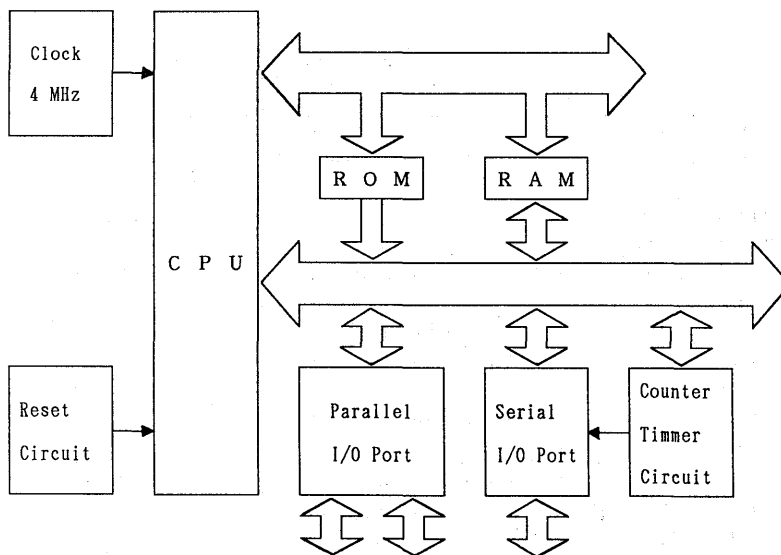
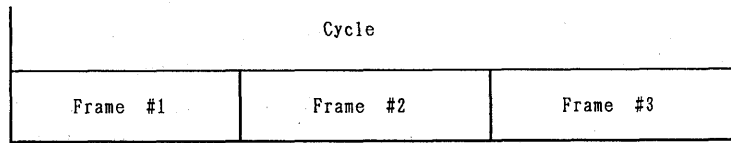


Fig. 3 Block diagram of processing unit.

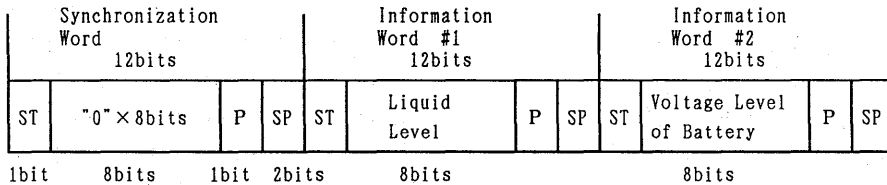
より構成されている。ここでは、電源投入後、リセット信号が発生するまで2 msec.となるように調整されている。

この演算処理部ではA/D変換部より送られてきた液面レベルおよび子局の電源として用いられているリチウム電池の電圧の値を親局へ送るためのサイクリック・デジタル伝送フォーマットの形式を整えている。Fig. 4(a)および(b)は伝送フォーマットのサイクル構成およびフレーム構成である。1データサイクルは3つのフレームより成る。1フレームは1同期ワード、2情報ワードとする。STはスタートビット、SPは

ストップビットであり、これらによりワード分離が行われている。また、Pは奇数パリティビットである。同期ワードはフレーム同期を取るために設けられており、図のような系列になっている。情報ワード#1は液面レベルを8ビットのデータとして伝送するワードである。情報ワード#2では電池の電圧を8ビットのデータとして挿入している。ここでは、1サイクル内にこのデータフレームを3回繰り返して伝送することにより信頼性の向上を計っている。そのため、1サイクルの伝送に要する時間は11.25msec.である。また、Table 1はFig. 1のシステムの動作手順と各動作時の所要時間である。



(a) Cycle structure.

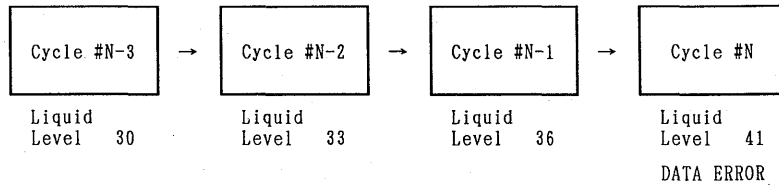


(b) Frame structure.

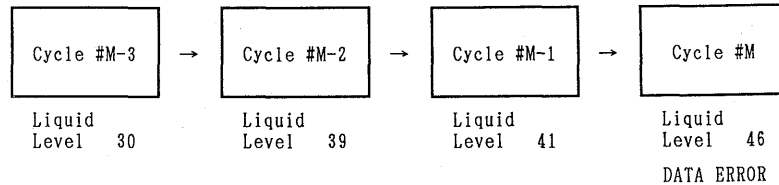
Fig. 4 Cycle and frame structures of transmission format.

Table 1 Sequence of system operation and its operation time.

Operation	Typical operation time
After turning on the power supply and generating the signal S ₁ from the switching circuit, the reset signal is sent to CPU	2 msec.
The serial I/O port is initialized	9 μsec.
The analog signals of the liquid level and the voltage level of the battery are converted to the digital signals	200 μsec.
The transmission format is made by the CPU	50 μsec.
The data is sent to the serial I/O port of the terminal station	9 μsec.
The host station receives the data from the serial I/O port of the terminal station (three times)	11.25msec.
The data is checked by the host station	150 μsec.
The terminal station receives the stop signal from the host station	1.25msec.
The power supply is turned off by the signal S ₂ from the processing unit	9 μsec.
Total	14.927msec.



(a) New system.



(b) Conventional system.

Fig. 5 Change of the transmission data of each cycle.

電源投入から電源遮断までの一連のシステム動作時間は約15msec.である。

提案したシステムでは、液面レベルが変化し、電源をオン、オフするスイッチ回路が動作したときだけ子局から親局へ1サイクルのデータ伝送を行う。従って、電源をオン、オフするスイッチ回路の回転円板の回転速度と液面レベル検出部のポテンシオメータの軸の回転速度に相関関係を持たせておけば、サイクル毎のデータの変化は一定になる。このため、親局では容易に伝送されて来るデータ値を予測できる。Fig. 5(a)の例では、 n 番目のサイクルの液面のレベルのデータを $L_n(n=0, 1, 2, \dots, N-1, N, N+1, \dots)$ とすると、 p サイクル前の液面レベルのデータとの差は $|L_n - L_{n-p}| = 3p$ で表される。ただし、 L_{n-p} の値は途中のサイクルのデータが誤っていた場合も考慮して、3サイクル前のデータまでを正誤の判断に使用する。このため、 p は $p=1, 2, 3$ である。このようにして、親局ではサイクル# N の伝送後のデータ41は誤りであることが即座に判断できる。このことは、増減するデータに対しても適用できる。一方、従来の方式では一定周期でデータが送られており、Fig. 5(b)に示したように各サイクルのデータ間に相関は一般にはない。このため、Fig. 5(a)に示した新しい方式のように即座に誤ったデータを検出することはできない。そこで、データの誤りを検出し、システムの信頼性を高めるためには厳密な誤り制御を行う必要があり、子局にお

ける演算処理時間および親局への伝送時間が長くなる。

このように新しい方式は従来の方式に比べて本質的に高い信頼性を持つため、子局側ではFig. 4(b)の伝送フォーマットに示すように簡単なパリティチェックを施すだけで十分である。このことは、子局の演算処理時間、伝送時間が短縮されることを意味しており、システムの低消費電力化にも役立つ。

3. 4 送受信部 (Transmitter/Receiver)

変調方式としては300MHz付近の2値による周波数変調を用いている。また、電波法の許認可が不要な微弱電波を使用している²⁾。

3. 5 電源部 (Power Supply)

本システムでは電力の低消費化を計るため、データの伝送時だけに電源がオンする。

Fig. 6は電源部の構成図である。前述したように、電源をオン、オフするスイッチ回路部の回転円板の周縁上には間隔をあけて永久磁石が配置されている。回転円板は液面のレベルの変化に伴うフロートの昇降に連動して回り、回転円板の近くに設置されたリードスイッチ S_w をオン、オフする。リードスイッチ S_w がオンすると、電池 $E \rightarrow S_w \rightarrow$ コンデンサ $C_1 \rightarrow$ 抵抗 R_2 のループが形成され、 R_2 の両端に電圧パルスが発生し、サイリスタ T_b がオンする。これによって、抵抗 $R_3 \rightarrow$ 抵抗 $R_4 \rightarrow T_b$ と電流が流れ、トランジスタ T_r がオンになり、電池

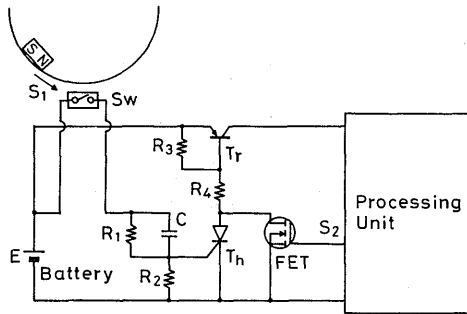


Fig. 6 Configuration of the power supply.

Eと演算処理部等の他の全ての回路部が接続される。

その後、データの送信が終了すると、演算処理部のパラレルI/Oポートから電圧パルスが出力され、電界効果トランジスタFETをオンにする。これによりサイリスタ T_n がオフになり、これと同時に T_r がオフになり、全ての回路部への給電が停止される。この状態は再び液面のレベルが変動し、回転円板上の次の永久磁石が近付き、リードスイッチ S_w がオンされるまで保持される。

4. 消費電力特性

ここでは、まず、Fig. 1の新しい方式のシステムの消費電力を明らかにし、次に従来のシステムとの比較、検討を行う。

Table 2は電源部を除いた回路各部の平均消費電力であり、全体で310mWである。回路部は5V単一電源で駆動するため、この310mW、つまり5V、62mAを定格とする。Fig. 7およびFig. 8の電源部の負荷特性および電力効率特性より、定格時の電源部の効率は90%以上である。このため、電源部の電力損失はTable 3に示したように定格動作時は28.4mWである。また、待機時には2.5 μ Wであり、これが子局の非動作時の消費電力である。

これらのことおよびTable 1に示した電源投入から電源遮断までの一連のシステム動作時間は約15msec.であることを考慮して、従来の方式と新しい方式の消費電力の比較を行う。

従来、水量や液量等のテレメータを行う場合、一定周期でデータを収集し、伝送する方法が用いられている。このため、待機時にも時間を計算するために演算処理部のタイマ回路は動作させており、この回路においては常時、電力が消費されている。この消費電力は20mWであり、Table 1およびTable 2より全回路が稼働している時の消費電力の約6%強である。また、デー

Table 2 Typical consumed power in each circuit.

Circuit	Typical consumed power (mW)
Sensor	2
A/D converter	8
Processing unit	200
Transmitter receiver	100
Total	310

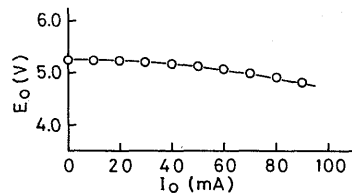


Fig. 7 Load characteristics.

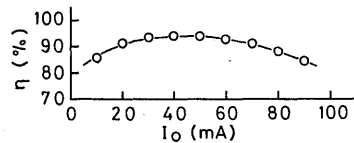


Fig. 8 Power efficiency.

タ伝送の信頼性を増すためにサイクリックチェックなどを施す必要があり、演算処理および伝送時間が長くなる。しかし、ここでは比較を容易に行うために動作時間はTable 3の15msec.を使うことにする。また、送信動作は2分30秒に1回行うものと仮定する。この場合の1日当りの消費電力 P_1 は、

$$P_1 = (\text{動作時15msec.の消費電力} + \text{待機時2分29秒985の消費電力}) \times (24\text{時間} / 2\text{分30秒}) \quad (1)$$

で計算される。

一方、新しい方式の場合の1日当りの消費電力 P_2 は、 $P_2 = (\text{動作時15msec.の消費電力}) \times N + \text{待機時の消費電力}$ (2)で計算される。ただし、式(2)で待機時=24時間-動作時間であり、 N は動作回数である。

Fig. 9に新しい方式の1日当りの動作回数 N の変化に対する消費電力を示す。図より、1日当りの動作回数 N が1702以下の場合には、従来方式と比べて新しい方式が優れていることが分かる。また、Fig. 10に示すように電池の寿命も N が小さければ大きく延び、24Ah、5Vのリチウム電池を用いるとして、電源をオ

Table 3 Typical power loss in the power supply.

Duration of operation	28.4(mW)
Duration of standby	2.5(μ W)

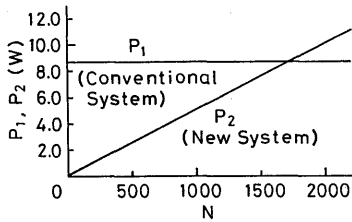


Fig. 9 Consumed power during one day characteristics.

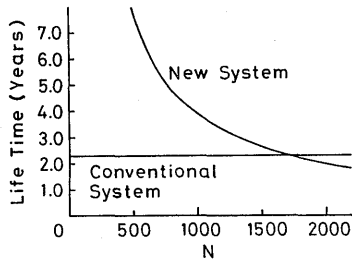


Fig. 10 Life time characteristics.

ン、オフするセンサ部の分解能を調整することにより1日当りの動作回数 N を776以下に設定すれば、5年以上の動作が可能となる。

5. むすび

以上、低消費電力形の高性能デジタルテレメータシステムを提案し、その構成について述べるとともに消費電力特性を明らかにした。本システムは従来方式に比べて、以下の優れた特徴をもっている。

(1) 提案したシステムでは、計測値が変化した時だけ電池から子局の回路へ電力が供給され、待機時には子局の全ての回路への電力供給が止まる。このため、電池の電力消費量は低く抑えられ、メンテナンスフリーで5年以上の使用が可能システムを実現できる。

(2) 計測値が変化した時だけ子局は動作し、親局へのデータを送信するため、親局ではデータの変化を容易に予測できる。

(3) (2)の理由から、伝送フォーマットには簡単なパリティチェックを施すだけで、十分高い信頼性が確保できる。また、パリティチェックが簡単なため子局の

演算処理時間および親局への送信時間が短縮できる。

ここで提案したデジタルテレメータシステムは親局および子局のそれぞれが複数個の場合にも容易に適用できる。現在、提案したシステムを工業用油類貯蔵供給システムに適用することを検討しており、フィールド実験結果については次の機会に報告したい。

最後に、本研究は九州産業技術センターの研究助成により、平成2年度技術基盤研究テーマとして行われたものであることを記して、関係各位に謝意を表したい。

参考文献

- 1) 電子通信学会編：“テレメータとテレコントロール”，コロナ社（昭59）。
- 2) 無線設備検査検定協会編：“電波法に基づく技術基準適合証明の手引”（平2）。