

特集

マルチファンクション I/O ボード

複雑化するセンサー/制御 I/O への 要求に対応する分散戦略

コンピューター・システム密度および I/O 密度の強化への要求が一段と高まる
中、分散処理および分散 I/O アーキテクチャーへの注目が高まっている

North Atlantic Industries 社デジタル設計事業担当副社長 Paul Feldman

現代の軍事兵器は電子機器の比重が高まる一方である。航空機の操縦飛行制御はフライ・バイ・ワイヤー方式となり、地上車両はドライブ・バイ・ワイヤー方式となってきた。これに伴って、船舶、航空機、車両に使用されるセンサーも増加の一途をたどっている。センサーは向かってくる飛翔体からエンジンの振動まで、あらゆるものを検出する。センサーからのデータに基づいて電子制御アクチュエーターに応答動作をさせる装置も増加している。センサーとアクチュエーターがデータを収集して処理するには何かの I/O ポイントに接続されている必要がある。例としてシンプルなターン・バイ・ワイヤー方式を考える。オペレーター(車両ドライバー)が右折動作をさせるには、その量を指示してやる必要がある。制御ポイントを経由して適切なアクチュエーターを作動させ、垂直軸に取り付けられたハンドルを回転させなければならない。

このような動作をさせることについてはいくらかでも疑問が湧いてくる。増える電子機器を接続し、重量を増加させることなくすべてのセンサーを相互に関連させ、指数関数的に増大するデータを処理するにはどうすればよいのか？電子機器が、例えば機械的ステアリング・システムのような機械系を置き換えるとすると、電子系のほうが機械系より小型軽量ではあるがデータ処理機器の費用は大きくなる。そしてスペースや重量の削減が考慮されることなくセンサー数が増やされることが多い。電子機器が増えればデータ処理の負担は大きくなり、相互接続数も当然増加する。



図 1

潜水艦には膨大な数のセンサーが搭載されている。完全なステルス性を保つためには、多数の振動センサーが必要である。写真はナポリ湾を航行中の米国のバージニア級攻撃型潜水艦

マルチファンクション I/O 戦略

電子機器の増大に対処するため、メーカーはさまざまな戦略を立てている。第 1 は統合化の推進であり、現在の PCB 基板は少し前までの基板に比較して I/O ポイントの数が圧倒的に多い。デジタル機器の統合ほどではないにせよ、アナログ機器の統合もこれに近い速度で進んでいる。5 年前には 1 枚の PCB 基板に 32 個の A/D コンバーターまたは D/A コンバーターを搭載したものが高密度とされていたが、現在では 60 個以上が普通である。今では PCB に搭載可能なアナログ機能数の制約要因がもはや基板上的電子機器の密度ではなく I/O ピン数になってきている。

これらの問題に対応するため、メーカーは VME や cPCI から VPX への転換を進めている。VPX の I/O 数は VME のほぼ 2 倍だ。現在の I/O 基板は「スマート」基板であり、A/D 変換、D/A 変換やシンプルな I/O 機能だけでなく高度なデータ処理を行う。例えばシンプルな I/O 基板の A/D コンバーターは一定頻度で入力データを取得し、このデータをミッション・コンピュータに送ってそこで処理する。現在の軍艦、潜水艦、航空機、さらには車両にはデータ取得(サンプリング)ポイントが数千個ある。潜水艦が完全なステルス性を保つためには一体何個の振動センサーが必要か想像してみるとよい(図 1)。

拡大し続ける帯域幅で情報量をさらに増やすため、サンプリング・レートは 2000~3000 Hz であったものが 100 KHz を超えるようになり、ビット深度は 12 ビットから 16 ビットへ、さらに 24 ビットへと進化してきた。データ量が膨大になった結果、最もパワフルなプロセッサでも対応できなくなり、特に FFT や FIR フィルタリングなどの複雑なアルゴリズムでは処理が追いつかなくなった。その対策として、図 2 に示すようなオンボード FPGA および DSP を使用すればメイン・プロセッサに負担をかけずに処理することが可能である。これらのコンポーネントはプログラミング対応力が高いため、I/O 基板メーカーやエンドユーザー・システム・インテグレーターはこれら COTS 基板のハードウェアを変えずに機能を柔軟に設定することができる。

SWaP の最小化

「スマート」基板は 1 枚の PCB 基板で複数の機能を実行できることから、システムのサイズと消費電力(SWaP: System Size and Power)を最小限度に抑えるという重要な機能も持っている。過去には 32 個または 64 個の A/D または D/A 変換機能、28V ディスクリートを備えた基板が多数使用され、また各種通信機能(MIL-STD-1553、シリアル、ARINC429、CANBus など)およびプロセッサ機能(SBC)に別個の基板が使用されていた。しかし少数の基板で多種の I/O および通信に対応できることが要求されるようになってきた。そのためメーカーはマルチファンクション VME、cPCI、VPX の基板を開発したのである。システム・インテグレーターはこれらの基板が提供する広範な機能の中から実装する機能を選択し、1 枚の PCB 基板に多機能少数チャンネルを搭載するようになった。

これを可能としたのは FPGA および DSP ベース基板を最終組立時にプログラミングしてほぼすべてのタスクを実行できるようにしたことである。例えば 1 枚の基板に A/D、D/A、RTD、MIL-STD-1553、ARINC429、28Vなどを組み込むことができる(これらは一部にすぎず何十もの機能を持たせることができる)。また、マルチファンクション I/O 基板で SBC(PowerPC または Intel)をサポートし、同時に、多数の機能のなかから、幅広い組み合わせを行うこともできる。この基板 1 枚で専用基板 6 枚の機能に匹敵する。これらの多機能基板が COTS であることも重要だ。基板とモジュールの設計、試験、保管はメーカーが行う。システム・インテグレーターは必要な機能を持つ基板を発注すればよい。メーカーが最終組立を行い、必要な FPGA/DSP コードをダウンロードし、最終試験を実施する。



図 2

I/O 基板メーカーは上の写真のようなオンボード FPGA および DSP を採用することでシステムのメイン・プロセッサの負担を軽減する前処理を行うことを可能にした。I/O 基板プロバイダーもエンドユーザー・システム・インテグレーターも高度な構成ができるようになった。

分散 I/O への移行

そして現在、次の段階が姿を現し始めた。I/O データの分散処理である。このコンセプトは非常にパワフルであり、多くの問題を一挙に解決できる。I/O シャーシ・センサー・インターフェース・ユニット(SIU)は、通常、堅牢で自立した設計なので、必要な電源装置、設定可能 I/O、ミッション・プロセッサとの通信、オプションの SBC 機能などが内蔵されている。システム・インテグレーターは I/O ポイントをセンサーや前処理データのすぐ近くに配置し、処理済みデータをミッション・プロセッサに送ることが可能だ。前のシンプルなターン・バイ・ワイヤーの例ではシステムはハンドル位置測定機能(A/D、S/D またはエンコーダー)、垂直軸に取り付けられたハンドル位置の測定機能(別の A/D、S/D またはエンコーダー)、ハンドルを回転させるためのアクチュエーターを駆動する D/A または PWM を必要とする。

メイン・プロセッサにこれらの機能を実行させるには制御ループを備えていることが通常必要である。また、センサー、アクチュエーター、メイン・プロセッサ・シャーシ(I/O

機器の筐体でもある)との間の配線も多数にのぼる。すべての I/O 機能および SBC 機能を備えた自立型 SIU を 1 つまたは複数(プラットフォームのサイズによる)遠隔に配置して使用する場合を想像して欲しい。SIU であればセンサーおよびアクチュエーターのそばに配置して動作に必要な制御ループを実装することができる。この場合、メイン・プロセッサに制御ループは不要であり、ハンドルの位置を認識してリモート SIU に「6 度回転」などの短いメッセージを送信すればよい。そのため負荷が大幅に軽減される。

また別の大きなメリットとしてケーブル長の短縮がある。重量の大幅削減につながるだけでなくノイズ、配線損失、グラウンドループが削減され、多くの場合、EMI も大きく軽減できる。これは特に航空機にメリットがあり、従来は 100 フィートあるいはそれ以上必要であった配線が数フィートになった。数百フィートが必要であった艦船や潜水艦も同様である。長さ 50 フィートの 100 ツイスト/シールド・ペア線と、同じ長さのデュアル Gbit イーサネットまたは光ファイバー線の重量比は 10:1 である。SIU は標準 28VDC または単相/3 相 115VAC を使用するため、SIU 電源ケーブルも短い上、電源が標準的であることからプラットフォームの多くの箇所から電源を取ることができる。

メンテナンスと冗長性

SIU はインテリジェント機器であり、BIT 機能を備え、自己診断が可能であるためメンテナンスも大幅に容易になった。障害が発生した場合、従来であれば何十枚もの基板を診断して不良基板を発見し交換する必要があったため、その間は当該装置全体を停止しなければならなかった。SIU では問題箇所発見が容易である上、4、5 本の配線で接続されているシャーシを交換すればよい。配線が少なくなったことでメンテナンスの負担が少なくなり、可用性が向上した。何百もの信号を何百、何千フィートも送信する代わりに数本の光ファイバーケーブルを配線すればよく、それぞれのケーブルが冗長性を持ったファイバーであっても良い。どれかのファイバーに接続障害が発生しても簡単に不良ファイバーを特定でき冗長ファイバーに切り替えれば済む。

冗長性もすぐれた特性である。過去には冗長性を持たせるためにはシステム・ラック全体を 2 個設置する必要があり、その場合にはどちらのラックがどのプロセッサを使用して制御するのかという問題が付きまとった。どちらかのラックで障害が発生すればそのラック全体を停止してバックアップに切り替える必要があった。分散 SIU では管理が容易であるだけでなく「フェイルソフト」設計が可能である。各 SIU はすべてのプラットフォーム機能のサブセットを制御するため、1 つの SIU に障害が発生したときにはそのサブセットのみをバックアップ・ハードウェアに切り替えれば済む。さらに、各 SIU は 2 つ以上の Gbit イーサネットまたは他の通信チャンネルを備えており、常にメインおよびバックアップの

ミッション・コンピューターに接続されている。ハードウェア障害が発生してもメイン・ミッション・コンピューターは引き続きシステムの制御を行うことができる。図 3 にこのアプローチによる冗長性の概念図を示す。

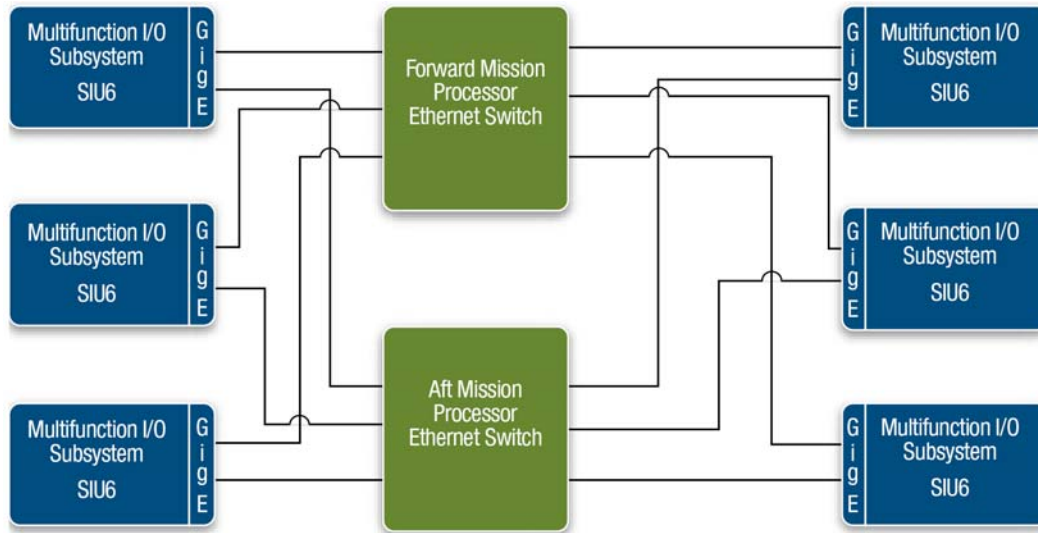


図 3

上の冗長システム概念図では各 SIU は 2 つ以上の Gbit イーサネットまたは他の通信チャンネルを備え、常にメインおよびバックアップのミッション・コンピューターに接続されている。ハードウェア障害が発生してもメイン・ミッション・コンピューターは引き続きシステムの制御を行うことができる。

1553、ARINC429 などの組み合わせ

一例として、North Atlantic Industries の「標準」SIU は最大 300 個の I/O ポイントをサポートし、多数の異なった I/O 機能を設定可能であり、データ処理用 SBC をサポートし、GigE、MIL-STD-1553、ARINC429、CANBus などの各種通信インターフェースを介してメイン・ミッション・コンピューターと通信する。この SIU を図 4 に示す。その特徴の 1 つはシステム・インテグレーターの要求に応えながら NRE ほとんどなしに迅速なデータ通信を行う COTS 設計である。

一般用、業務用と同様、軍用プラットフォームでも電子機器への依存傾向は強まっている。スマート電子機器はメリットが大きいからである。電子機器が多用されることはシステム・デザイナーには便利であるが、その適用には慎重さも要求される。I/O ポイントが増大を続ける中、電子 I/O 機器を組み込んだシステムはサンプリング・レートが高く、ダイナミック・レンジも大きくまた機能も多様であることから実装やメンテナンスの問題が生じ

やすい。インテリジェント I/O 基板と分散 I/O SIU を併用することでメイン・システム・プロセッサの負担および配線重量を軽減できるだけでなく、システムがシンプルとなってメンテナンスもしやすくなる。現在および将来の軍用プラットフォームはこの方式によりさらに電子化が進むであろう。



図 4

写真のようなボックス型 SIU は最大 300 個の I/O ポイントをサポートし、多数の異なる I/O 機能を設定可能であり、データ処理用 SBC をサポートし、Gbit イーサネット、MIL-STD-1553、ARINC429、CANBus などの各種通信インターフェースを介してメイン・ミッション・コンピューターと通信する。

North Atlantic Industries

Bohemia, NY.

(631)567-1100

[www.naii.com]