

LV32 SPI 延長モジュール アプリケーションノート

◆ 概要

シリアル・ペリフェラル・インターフェース(SPI)は、プロセッサと周辺デバイス間の通信手段として、多くのアプリケーションで使用されています。SPIは当初、同一基板上のデバイス間の短距離通信用に設計されました。しかし多種多様なSPIデバイスが開発される今日では、同一基板の範囲を超えた長距離SPI通信の需要が高まっています。

通信距離が長くなると、SPI信号間のクロストークや外来ノイズが問題になります。さらに、距離が長くなると、伝播遅延によって通信速度が制限されます。このアプリケーションノートではSPI信号を延長する際に発生する伝播遅延に着目し、通信距離と限界速度の課題と解決方法について解説します。

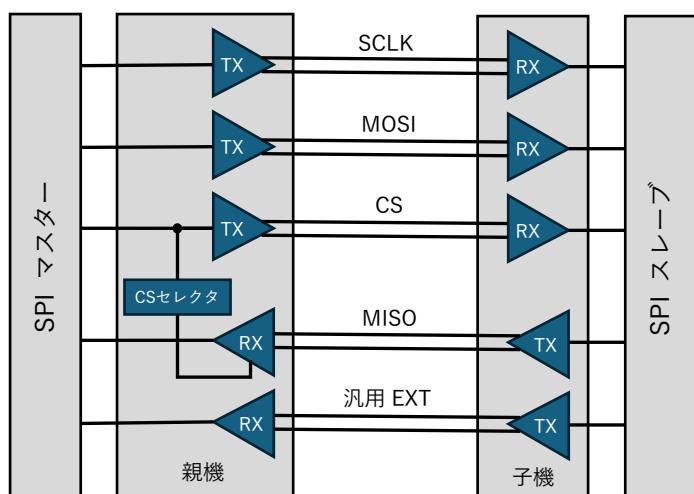
このアプリケーションノートでは次の事項を解説します。

- 差動信号インターフェースを利用したSPI延長モジュール "LV32" の概要
- 通信距離および通信速度がSPI通信に及ぼす影響
- SCLKをコントローラへ返送し、伝播遅延短縮して通信速度または距離を向上させる方法

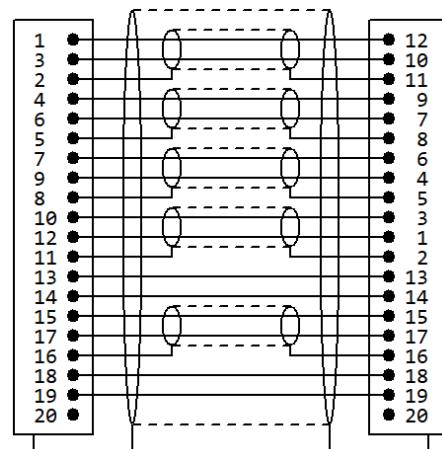
◆ SPI 延長モジュール "LV32" の概要

LV32は、GND(0V)を基準に信号電圧の高低で"H"と"L"を決めるSPI信号を、2本の信号線を使い信号線間の極性で"H"と"L"を決める差動信号へ変換して通信します。差動信号を使用することで、信号の反射や波形のなまり、外来ノイズへの耐性を強化しています。

差動信号は各々の信号に対して2本の信号線が必要になるので、LV32ではSPIに使用する4系統8本の信号線と汎用信号用のペア線や電源供給を内包し、全信号がシールドされているDisplayPortケーブルを流用しています。



ブロック図



DisplayPort ケーブル結線図

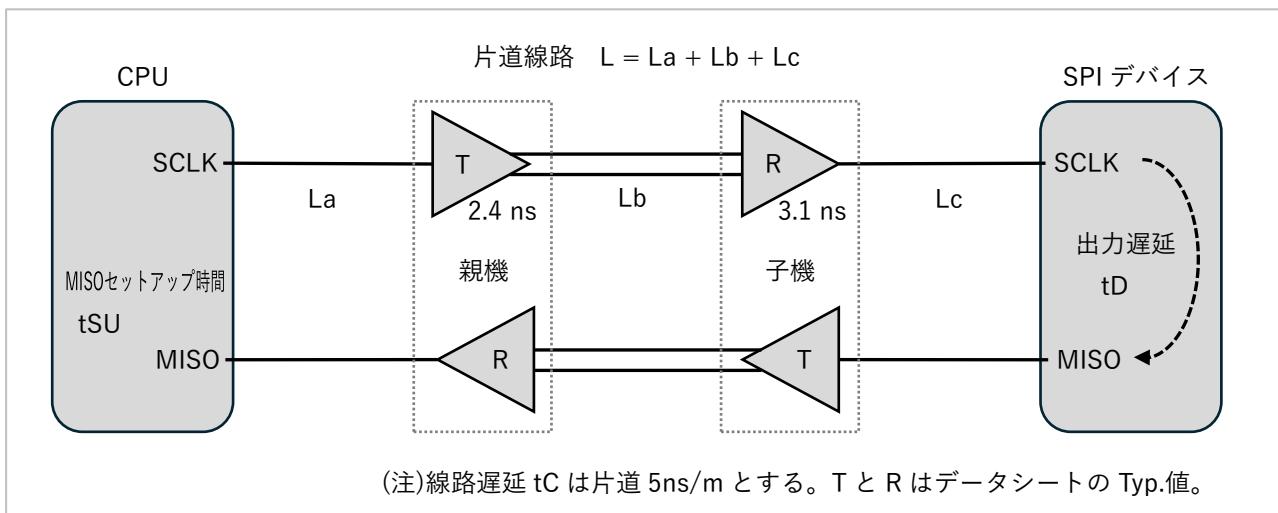
◆ 通信距離および通信速度が SPI 通信に及ぼす影響

コントローラから SPI デバイスへ一方送信するだけのシステムでは問題になりませんが、コントローラは送出するクロック SCLK と同期して MISO を受信します。つまり、SCLK の 1 パルスの期間以内に MISO がコントローラへ戻って来なければ通信が成立しません。以下の図は SPI モード 0 の SCLK(黄色)と MISO(水色)の波形で、左の図は正しく受信している状況、右の図は MISO が SCLK よりも遅延しているために受信に問題が出る状況です。



SPI 通信そのものには通信距離の制限値はありませんが、ケーブルの長さによって信号の遅延が生じます。これはケーブルの材質によって生じる物理的な現象で、ノイズ等の外因要因とは無関係です。また、LV32 が内蔵している差動信号へ変換する素子にも一定の遅延があり、これらの遅延時間を全て合わせると最大延長距離や最高クロック周波数の理論値が決まります。

遅延の概念図を以下に示します。



往路と復路のケーブルが等長の場合、以下の計算式で最大ケーブル長や最高クロック周波数の理論値を求める事が出来ます。展開式の単位は周波数が MHz、L が m、時間が ns となっています。

- 使用中のケーブルの長さをもとに、最大クロック周波数 $SCLK_{MAX}$ を求める。

$$SCLK_{MAX} = \frac{1}{((T + R + tC \times L) \times 2 + tD + tSU) \times 2} \quad (式 1) \quad \text{式 1 の展開} \quad SCLK_{MAX} = \frac{1}{4(T + R) + 20L + 2(tD + tSU)} \times 1000$$

- 使用中のクロック周波数をもとに、最大ケーブル長 L_{MAX} を求める

$$\text{式 1 の展開} \quad L_{MAX} = \left(\frac{250}{SCLK} - T - R - 0.5(tD + tSU) \right) \div 5$$

◆ 計算例

条件：SPI デバイス遅延 $tD=35\text{ns}$ 、CPU MISO セットアップ時間 $tSU=10\text{ns}$ 、往路と復路のケーブルは等長

- クロック 5MHz のとき、使用できるケーブル最大長はいくらか？

$$L_{\text{MAX}} = (250 \div 5 - 2.4 - 3.1 - 0.5 \times (35 + 10)) \div 5 = 4.4(\text{m})$$

- 5m のケーブルで使用できる最高クロック周波数は？

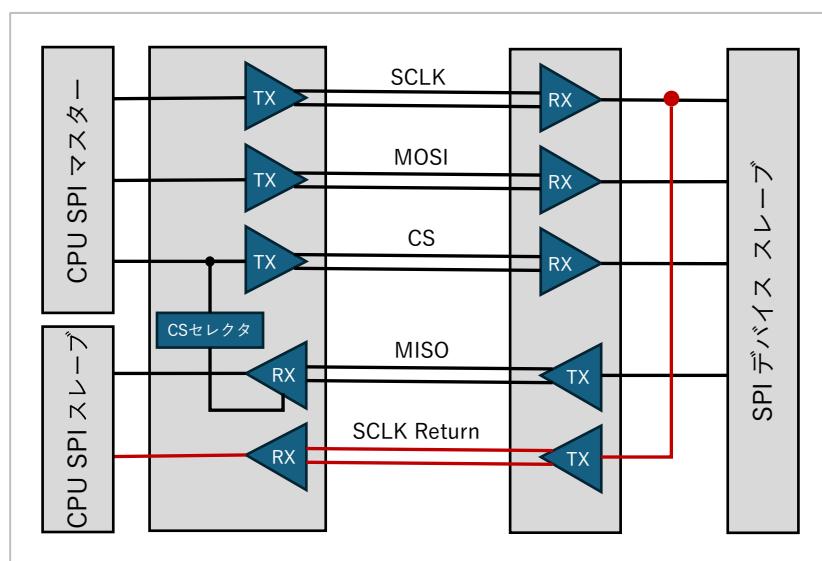
$$\text{SCLK}_{\text{MAX}} = 1 / (4 \times (2.4 + 3.1) + 20 \times 5 + 2 \times (35 + 10)) \times 1000 = 4.71(\text{MHz})$$

※クロック周波数を変更せず既存のシステムへ無条件に組み込む場合、延長可能距離が想定よりも大きく変わる場合があります。

※半導体のタイミング特性は電源電圧・周囲温度・個体のばらつきや、基板設計の良し悪しによっても変化しますので、理論的な計算結果に少なくとも 10~25%程度のマージンを確保し、実機を使って安定した通信が継続して得られるか十分検証のうえ、ご使用をお願いします。

◆ SCLK をコントローラへ返送し、伝播遅延短縮して通信速度または距離を向上させる方法

前章の延長手法では既存のシステム構成をできるだけ変更せず、SCLK と MISO の時間余力の範囲でケーブルを延長するものでした。システムの新規設計時や既存のシステムの設計変更を伴ってでも高いクロック周波数と延長距離が必要な場合、下図のように SCLK をコントローラへ返送するとこれらの課題を解決できます。



SPI デバイス直近の SCLK をコントローラへ返送すると、MISO は SCLK Return と共にマスター デバイスのように振舞い、全二重通信の構成になります。コントローラ側では独立した 2 つ目の SPI スレーブポートを使ってデータを受信してください。これにより、ケーブルの長さや差動インターフェース IC に起因する遅延時間を排除できます。

この構成で最高周波数を計算する式は以下のようになります。周波数は MHz、時間は ns 単位です。

$$\text{SCLK}_{\text{MAX}} = \frac{500}{(T + R + tD + tSU + \text{Cable Length Mismatch})}$$

◆ 計算例

条件：MISO と SCLK Return の長さが等長であること (Cable Length Mismatch はゼロ)

$$\text{SCLK}_{\text{MAX}} = 500 / (2.4 + 3.1 + 35 + 10) = 9.9 (\text{MHz})$$

※CS 信号の出力論理選択用ジャンパを常時出力(ALWYS)へ変更してご使用ください。

使用上の注意

- 本アプリケーションノートで提供される情報は、本製品に関する一般的な知識・使用方法・設計アプローチを目的としており、特定の性能・有用性や、全ての環境下における動作を保証・推奨するものではありません。記載された情報の正確性・安全性には十分注意を払っておりますが、内容の正確性や最新性、完全性を保証するものではありません。
- 本製品をお客様のアプリケーションへ適用される際の設計、設定、試験などは、お客様の責任のもとで行ってください。当社は、情報の利用や参考にしたことにより発生した損害やトラブル等に関して、一切の責任を負いかねます。
- 紹介されている製品仕様や価格、対応状況などは、予告なく変更される場合があります。最新情報は当社の公式情報をご確認ください。

株式会社データ・テクノ