

SmartMesh IP ノード 2.4GHz 802.15.4e ワイヤレス・モート・モジュール

ネットワークの特長

- 自己回復メッシュ・ネットワークを形成するための完全な無線トランシーバ、組み込みプロセッサ、およびネットワーク・ソフトウェア
- SmartMesh[®] ネットワークが実装する機能：
 - ネットワーク規模の時間同期式スケジューリング
 - 伝送周波数ホッピング単位
 - 空間冗長性のある多様なトポロジー
 - ネットワーク規模の信頼性と電力の最適化
 - NIST 認証済みのセキュリティ
- SmartMesh ネットワークが実現する性能：
 - 最も困難な RF 環境でも 99.999% を超えるデータ信頼性を実現
 - ルーティング・ノードの電流が 50μA 未満
- 6LoWPAN インターネット・プロトコル (IP) および IEEE 802.15.4e 規格に準拠

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM の特長

- 業界最高レベルの低消費電力無線技術
 - パケット受信時: 4.5mA
 - 0dBm での送信時: 5.4mA
 - 8dBm での送信時: 9.7mA
- 米国、カナダ、EU、日本、台湾、韓国、インド、オーストラリア、ニュージーランドを含む RF モジュール認証
- PCB アセンブリにチップ・アンテナ (LTP5901-IPM) または MMCX アンテナ・コネクタ (LTP5902-IPM) を内蔵 QFN バージョン (LTC[®]5800-IPM) あり

概要

SmartMesh IP[™] ワイヤレス・センサ・ネットワークは、モートと呼ばれるワイヤレス・ノードから構築された自己管理式で低消費電力のインターネット・プロトコル (IP) ネットワークです。LTP[™] 5901-IPM/LTP5902-IPM は、IEEE 802.15.4e プリント回路基板アセンブリ・ソリューションの Eterna[®]* ファミリーにおける IP モート製品で、Dust Networks[®] 社による集積度の高い低消費電力無線設計とともに、Dust 社の組み込み SmartMesh IP ネットワーク・ソフトウェアが動作する ARM Cortex-M3 32 ビット・マイクロプロセッサを特長としています。24mm×42mm の LTP5901-IPM (チップ・アンテナ内蔵) と 24mm×37mm の LTP5902-IPM (MMCX コネクタ内蔵) はいずれも表面実装組み立て用に設計されています。

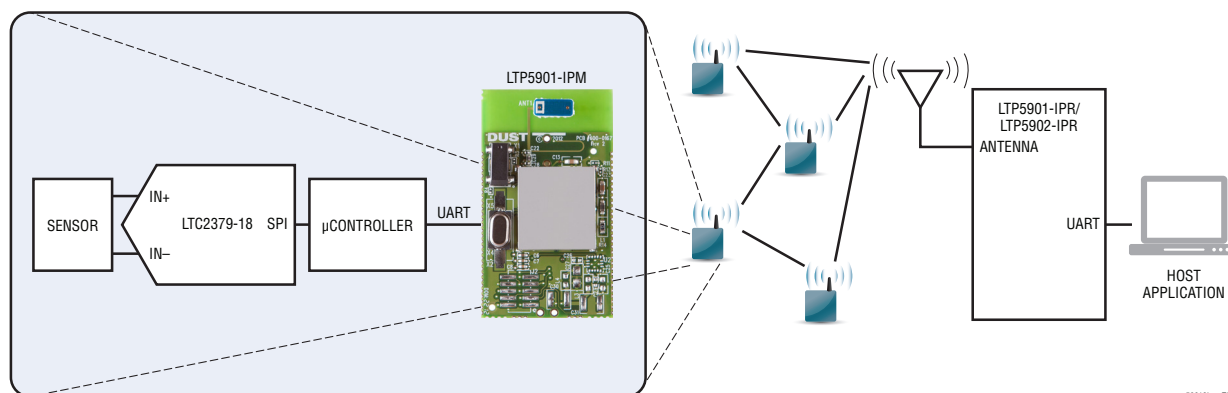
Dust 社の時間同期 SmartMesh IP ネットワークでは、ネットワーク内のすべてのモートがデータのルーティング、送信、または終了処理を実行しながら、バッテリー電源で何年も動作できます。LTP5901-IPM/LTP5902-IPM に付属の IP ソフトウェアは、テストと検証が完全に行われており、ソフトウェアのアプリケーション・プログラミング・インタフェース (API) を介して簡単に設定できます。

SmartMesh IP モートは信頼性の実績がある柔軟性の高いネットワークを実現し、組み込みが容易なプラットフォームで低消費電力性能を示します。

LT、LT、LTC、LTM、Linear Technology、Linear のロゴ、Dust、Dust Networks、SmartMesh および Eterna はリニアテクノロジー社の登録商標です。LTP、Dust Networks のロゴ、および SmartMesh IP はリニアテクノロジー社の商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。7375594、7420980、7529217、7791419、7881239、7898322、8222965 を含む米国特許によって保護されています。

* Eterna は Dust Networks の低消費電力無線 SoC アーキテクチャです。

標準的応用例



59012pm TA01

59012ipmf

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

目次

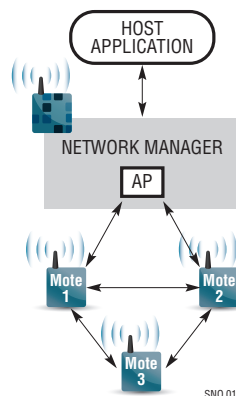
ネットワークの特長	1	ピン機能	18
LTP5901-IPM/LTP5902-IPM の特長	1	動作	22
標準的応用例	1	電源	22
概要	1	電源モニタとリセット	23
目次	2	高精度のタイミング	23
SmartMesh ネットワークの概要	3	アプリケーションの時間同期	23
絶対最大定格	4	時間基準	23
ピン配置	4	無線	24
発注情報	5	UART	24
推奨動作条件	5	自律 MAC	25
DC 特性	5	セキュリティ	25
無線規格	6	温度センサ	25
無線レシーバ特性	6	無線禁止	25
無線トランスミッタ特性	7	工場インストール済みソフトウェア	25
デジタル I/O 特性	7	フラッシュのデータ保持	25
温度センサ特性	8	状態図	26
アナログ入力チェーン特性	8	アプリケーション情報	28
システム特性	8	信号/データの取得と制御	28
UART の AC 特性	9	法規制と標準規格の順守	28
TIMEn の AC 特性	10	半田付け情報	28
Radio_Inhibit の AC 特性	10	関連資料	29
フラッシュの AC 特性	11	パッケージ	30
フラッシュ SPI スレーブの AC 特性	11	標準的応用例	32
標準的性能特性	13	関連製品	32

SmartMesh ネットワークの概要

SmartMesh ネットワークは、データを収集して中継する自己形成型マルチホップ・メッシュ・ノード(モートと呼ばれるもの)と、ネットワークの性能およびセキュリティをモニタして管理し、ホスト・アプリケーションとデータを交換するネットワーク・マネージャで構成されます。

SmartMesh ネットワークは、Dust Networksが開発したタイムスロット・チャンネル・ホッピング(TSCH)リンク層を使用して通信します。TSCH ネットワークでは、ネットワーク内のすべてのモートが1ミリ秒以内に同期しています。ネットワーク内の時間は複数のタイムスロットに編成されるので、衝突のないパケット交換と伝送単位のチャンネル・ホッピングが可能になります。SmartMesh ネットワークでは、すべてのデバイスに1つ以上の親(上位ノード)があり(たとえば、モート3には親としてモート1およびモート2があり)、干渉、物理的妨害、または多経路フェージングに起因する通信の遮断を克服するための冗長経路を実現します。ある経路でパケット伝送が失敗した場合は、次の再伝送を別の経路および別のRFチャンネルで試行できます。

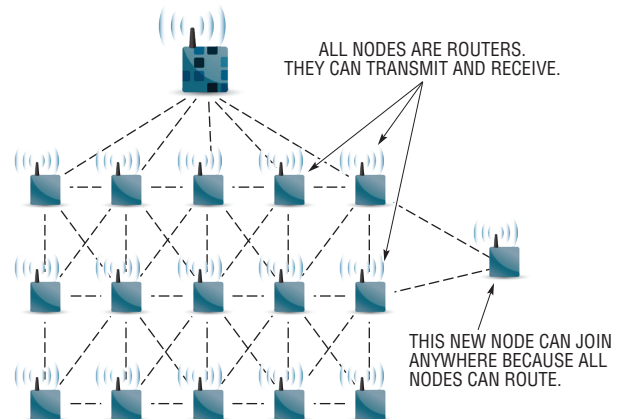
ネットワーク・マネージャがその内蔵アクセス・ポイント(AP)に指示してアドバタイズメントの送信を開始すると、ネットワークが形成され始めます。アドバタイズメントとは、デバイスがネットワークに同期して参加を要求できるようにする情報が入っているパケットのことです。このメッセージ交換は、マネージャまたはアプリケーションとモートの間の暗号化通信を確立するセキュリティ・ハンドシェイクの一部です。モートはネットワークに参加すると、パケットのACKリッジを受け取ったときの時間補正によって同期を維持します。



進行中のディスカバリ処理により、RFの状態が変化するのに応じてネットワークが新しい経路を絶えず検出することが保証されます。さらに、ネットワーク内の各モート性能の統計情報(例: 使用した経路の品質や潜在的経路のリスト)を追跡し、その情報を健全性レポートと呼ばれるパケットでネットワーク・マネージャに

定期的送信します。ネットワーク・マネージャは健全性レポートを使用してネットワークを絶えず最適化し、最も困難なRF環境でも99.999%を超えるデータ信頼性を維持します。

TSCHを使用すると、SmartMeshデバイスを予定の通信間にスリープ状態にすることができるので、この状態では電力をほとんど消費せずに済みます。モートがアクティブ状態になるのは、モートによる送信または受信を予定しているタイムスロット内に限られるので、通常はデューティ・サイクルが1%未満になります。ネットワーク・マネージャ内の最適化ソフトウェアにより、この予定は自動的に調整されます。低消費電力の無線システムであるEternaと組み合わせると、SmartMesh ネットワーク内のすべてのモートは、ルーティングが混雑したモートであっても、数年間はバッテリーで動作を継続できます。デフォルトでは、ネットワーク内のすべてのモートは他のモートからのトラフィックのルーティングが可能なので、別個のルータと非ルーティング・エンド・ノードという複雑な構造を回避することにより設置を簡素化しています。モートを非ルーティング・ノードとして構成し、その特定のモートの消費電力をさらに低減して、多種多様なネットワーク・トポロジーに対応できます。



SmartMesh モートとネットワーク・マネージャの中核をなすのは、Eterna IEEE 802.15.4eシステムオンチップ(SoC)であり、Dust Networks社の集積度の高い低消費電力無線設計に加えて、SmartMesh ネットワーク・ソフトウェアが動作するARM Cortex-M3 32ビット・マイクロプロセッサを特長としています。SmartMesh ネットワーク・ソフトウェアは完全にコンパイルされた状態で付属していますが、豊富な一連のアプリケーション・プログラミング・インタフェース(API)を介して構成可能です。これらのAPIにより、ホスト・アプリケーションがネットワークと対話して(たとえば、情報をデバイスに転送して)、1つ以上のモートのデータ発行レートを設定したり、ネットワークの状態や性能測定基準をモニタすることができます。データの発行は均一でもデバイスごとに異なってもかまいません。モートによる発行頻度は、必要に応じて低頻度にするか1秒に1回より頻繁にすることができます。

発注情報

無鉛仕上げ	製品マーキング	パッケージ	温度範囲
LTP5901IPC-IPMA???#PBF	LTP5901IPC-IPMA???#PBF	66-Lead (42mm×24mm×5.5mm) PCB with Chip Antenna	-40°C to 85°C
LTP5902IPC-IPMA???#PBF	LTP5902IPC-IPMA???#PBF	66-Lead (37.5mm×24mm×5.5mm) PCB with MMCX Connector	-40°C to 85°C

*ソフトウェア・バージョンは???としています。

それぞれの発注情報については、<http://www.linear-tech.co.jp/product/LTP5901-IPM#orderinfo> または <http://www.linear-tech.co.jp/product/LTP5902-IPM#orderinfo> をご覧ください。

無鉛仕上げの製品マーキングの詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/leadfree/> をご覧ください。

テープ・アンド・リールの仕様の詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/tapeandree/> をご覧ください。

推奨動作条件

- は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
VSUPPLY	Supply Voltage	Including Noise and Load Regulation	● 2.1		3.76	V
	Supply Noise	50Hz to 2MHz	●		250	mV
	Operating Relative Humidity	Non-Condensing	● 10		90	% RH
	Temperature Ramp Rate While Operating in Network		● -8		+8	°C/min

DC 特性

- は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。

OPERATION/STATE	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Power-on Reset	During Power-On Reset, Maximum 750 μs + VSUPPLY Rise Time from 1V to 1.9V		12		mA
Doze	RAM on, ARM Cortex-M3, Flash, Radio, and Peripherals Off, All Data and State Retained, 32.768kHz Reference Active		1.2		μA
Deep Sleep	RAM on, ARM Cortex-M3, Flash, Radio, and Peripherals Off, All Data and State Retained, 32.768kHz Reference Inactive		0.8		μA
In-Circuit Programming	RESETn and FLASH_P_ENn Asserted, IPCS_SCK at 8MHz		20		mA
Peak Operating Current +8dBm +0dBm	System Operating at 14.7MHz, Radio Transmitting, During Flash Write. Maximum Duration 4.33 ms.		30 26		mA mA
Active	ARM Cortex M3, RAM and Flash Operating, Radio and All Other Peripherals Off. Clock Frequency of CPU and Peripherals Set to 7.3728MHz, V _{CORE} = 1.2V		1.3		mA
Flash Write	Single Bank Flash Write		3.7		mA
Flash Erase	Single Bank Page or Mass Erase		2.5		mA
Radio Tx +0dBm +8dBm	Current with Autonomous MAC Managing Radio Operation, CPU Inactive. Clock Frequency of CPU and Peripherals Set to 7.3728MHz.		5.4 9.7		mA mA
Radio Rx	Current with Autonomous MAC Managing Radio Operation, CPU Inactive. Clock Frequency of CPU and Peripherals Set to 7.3728MHz.		4.5		mA

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

無線規格

● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Frequency Band		●	2.4000	2.4835	GHz
Number of Channels		●	15		
Channel Separation		●	5		MHz
Channel Center Frequency	Where $k = 11$ to 25 , as Defined by IEEE 802.4.15	●	$2405 + 5 \cdot (k-11)$		MHz
Modulation	IEEE 802.15.4 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)				
Raw Data Rate		●	250		kbps
Antenna Pin ESD Protection	HBM per JEDEC JESD22-A114F (Note 2)		± 6000		V
Range (Note 4)	25°C, 50% RH, +2dBi Omni-Directional Antenna, Antenna 2m Above Ground		100		m
Indoor			300		m
Outdoor Free Space			1200		m

無線レシーバ特性

● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Receiver Sensitivity	Packet Error Rate (PER) = 1% (Note 5)		-93		dBm
Receiver Sensitivity	PER = 50%		-95		dBm
Saturation	Maximum Input Level the Receiver Will Properly Receive Packets		0		dBm
Adjacent Channel Rejection (High Side)	Desired Signal at -82dBm, Adjacent Modulated Channel 5MHz Above the Desired Signal, PER = 1% (Note 5)		22		dBc
Adjacent Channel Rejection (Low Side)	Desired Signal at -82dBm, Adjacent Modulated Channel 5MHz Below the Desired Signal, PER = 1% (Note 5)		19		dBc
Alternate Channel Rejection (High Side)	Desired Signal at -82dBm, Alternate Modulated Channel 10MHz Above the Desired Signal, PER = 1% (Note 5)		40		dBc
Alternate Channel Rejection (Low Side)	Desired Signal at -82dBm, Alternate Modulated Channel 10MHz Below the Desired Signal, PER = 1% (Note 5)		36		dBc
Second Alternate Channel Rejection	Desired Signal at -82dBm, Second Alternate Modulated Channel Either 15MHz Above or Below, PER = 1% (Note 5)		42		dBc
Co-Channel Rejection	Desired Signal at -82dBm, Undesired Signal is an 802.15.4 Modulated Signal at the Same Frequency, PER = 1%		-6		dBc
LO Feed Through			-55		dBm
Frequency Error Tolerance (Note 6)			± 50		ppm
Symbol Error Tolerance			± 50		ppm
Received Signal Strength Indicator (RSSI) Input Range			-90 to -10		dBm
RSSI Accuracy			± 6		dB
RSSI Resolution			1		dB

無線トランスミッタ特性

● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Power High Calibrated Setting Low Calibrated Setting	Delivered to a 50 Ω load		8 0		dBm dBm
Spurious Emissions 30MHz to 1000MHz 1GHz to 12.75GHz 2.4GHz ISM Upper Band Edge (Peak) 2.4GHz ISM Upper Band Edge (Average) 2.4GHz ISM Lower Band Edge	Conducted Measurement with a 50 Ω Single-Ended Load, +8dBm Output Power. All Measurements Made with Max Hold. $R_{\text{BW}} = 120\text{kHz}$, $V_{\text{BW}} = 100\text{Hz}$ $R_{\text{BW}} = 1\text{MHz}$, $V_{\text{BW}} = 3\text{MHz}$ $R_{\text{BW}} = 1\text{MHz}$, $V_{\text{BW}} = 3\text{MHz}$ $R_{\text{BW}} = 1\text{MHz}$, $V_{\text{BW}} = 10\text{Hz}$ $R_{\text{BW}} = 100\text{kHz}$, $V_{\text{BW}} = 100\text{kHz}$		<-70 -45 -37 -49 -45		dBm dBm dBm dBm dBc
Harmonic Emissions 2nd Harmonic 3rd Harmonic	Conducted Measurement Delivered to a 50 Ω Load, Resolution Bandwidth = 1MHz, Video Bandwidth = 1MHz		-50 -45		dBm dBm

デジタルI/O特性

● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS (Note 7)	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{IL}	Low Level Input Voltage		● -0.3		0.6	V
V_{IH}	High Level Input Voltage	(Note 8)	● $V_{\text{SUPPLY}} - 0.3$		$V_{\text{SUPPLY}} + 0.3$	V
V_{OL}	Low Level Output Voltage	Type 1, $I_{\text{OL(MAX)}} = 1.2\text{mA}$	●		0.4	V
		Type 2, Low Drive, $I_{\text{OL(MAX)}} = 2.2\text{mA}$	●		0.4	V
		Type 2, High Drive, $I_{\text{OL(MAX)}} = 4.5\text{mA}$	●		0.4	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	Type 1, $I_{\text{OH(MAX)}} = -0.8\text{mA}$	● $V_{\text{SUPPLY}} - 0.3$		$V_{\text{SUPPLY}} + 0.3$	V
		Type 2, Low Drive, $I_{\text{OH(MAX)}} = -1.6\text{mA}$	● $V_{\text{SUPPLY}} - 0.3$		$V_{\text{SUPPLY}} + 0.3$	V
		Type 2, High Drive, $I_{\text{OH(MAX)}} = -3.2\text{mA}$	● $V_{\text{SUPPLY}} - 0.3$		$V_{\text{SUPPLY}} + 0.3$	V
	Input Leakage Current	Input Driven to V_{SUPPLY} or GND		50		nA
	Pull-Up/Pull-Down Resistance			50		k Ω

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

温度センサ特性

- は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Offset	Temperature Offset Error at 25°C		± 0.25		$^\circ\text{C}$
Slope Error			± 0.033		$^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$

アナログ入力チェーン特性

- は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
	Variable Gain Amplifier Gain Gain Error		1		8 2	%
DNL	Offset-Digital to Analog Converter (DAC) Full-Scale Resolution Differential Non-Linearity			1.80 4		V Bits mV
DNL INL	Analog to Digital Converter (ADC) Full-Scale, Signal Resolution Offset Differential Non-Linearity Integral Non-Linearity Settling Time Conversion Time Current Consumption	Mid-Scale 10k Ω Source Impedance		1.80 1.8 1.4		V mV LSB LSB LSB μs μs μA
	Analog Inputs (Note 9) Load Series Input Resistance			20 1		pF k Ω

システム特性

- は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
	Doze to Active State Transition			5		μs
	Doze to Radio Tx or Rx			1.2		ms
Q_{CCA}	Charge to Sample RF Channel RSSI	Charge Consumed Starting from Doze State and Completing an RSSI Measurement		4		μC
Q_{MAX}	Largest Atomic Charge Operation	Flash Erase, 21ms Max Duration	●		200	μC
	RESETE _n Pulse Width		●	125		μs
	Total Capacitance				6	μF
	Total Inductance				3	μH

UARTのAC特性

●は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。(Note 13)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
	Permitted Rx Baud Rate Error	Both Application Programming Interface (API) and Command Line Interface (CLI) UARTs	● -2		2	%
	Generated Tx Baud Rate Error	Both API and CLI UARTs	● -1		1	%
$t_{\text{RX_RTS to RX_CTS}}$	Assertion of UART_RX_RTSn to Assertion of UART_RX_CTSn, or Negation of UART_RX_RTSn to Negation of UART_RX_CTSn		● 0		2	ms
$t_{\text{CTS_R to RX}}$	Assertion of UART_RX_CTSn to Start of Byte		● 0		20	ms
$t_{\text{EOP to RX_RTS}}$	End of Packet (End of the Last Stop Bit) to Negation of UART_RX_RTSn		● 0		22	ms
$t_{\text{BEG_TX_RTS to TX_CTS}}$	Assertion of UART_TX_RTSn to Assertion of UART_TX_CTSn		● 0		22	ms
$t_{\text{END_TX_CTS to TX_RTS}}$	Negation of UART_TX_CTSn to Negation of UART_TX_RTSn		2			Bit Period
$t_{\text{TX_CTS to TX}}$	Assertion of UART_TX_CTSn to Start of Byte		● 0		2	Bit Period
$t_{\text{EOP to TX_RTS}}$	End of Packet (End of the Last Stop Bit) to Negation of UART_TX_RTSn		● 0		1	Bit Period
$t_{\text{RX_INTERBYTE}}$	Receive Inter-Byte Delay				100	ms
$t_{\text{TX to TX_CTS}}$	Start of Byte to Negation of UART_TX_CTSn		● 0			ns

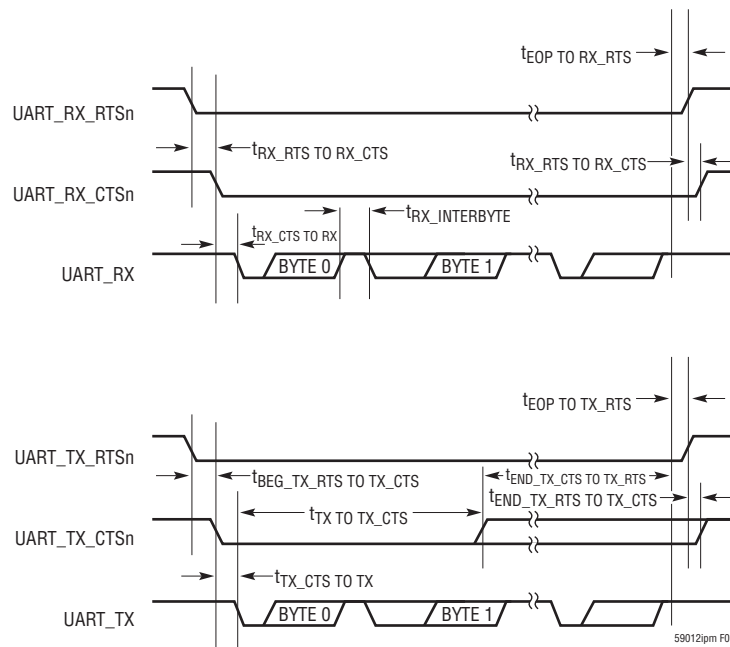


図1. API UARTのタイミング

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

TIMEnのAC特性

● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。(Note 13)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
t_{STROBE}	TIMEn Signal Strobe Width		●	125		μs
t_{RESPONSE}	Delay from Rising Edge of TIMEn to the Start of Time Packet on API UART		●	0	100	ms
$t_{\text{TIME_HOLD}}$	Delay from End of Time Packet on API UART to Falling Edge of Subsequent TIMEn		●	0		ns
	Timestamp Resolution (Note 10)		●	1		μs
	Network-Wide Time Accuracy (Note 11)		●	± 5		μs

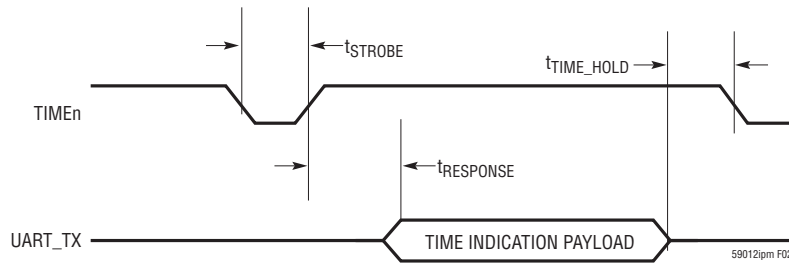


図2. タイムスタンプのタイミング

Radio_InhibitのAC特性

● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。(Note 13)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$t_{\text{RADIO_OFF}}$	Delay from Rising Edge of RADIO_INHIBIT to Radio Disabled		●		20	ms
$t_{\text{RADIO_INHIBIT_STROBE}}$	Maximum RADIO_INHIBIT Strobe Width		●		2	s

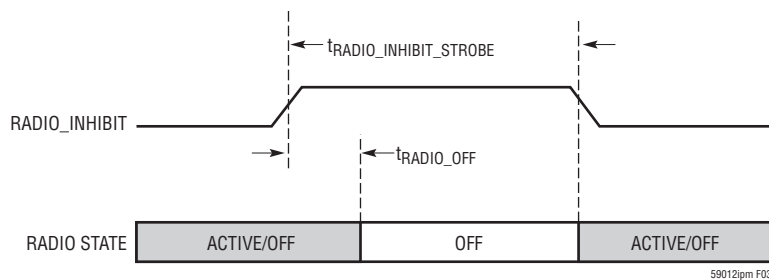


図3. RADIO_INHIBITのタイミング

フラッシュのAC特性

●は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。(Note 13)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
t_{WRITE}	Time to Write a 32-Bit Word (Note 12)				21	μs
$t_{\text{PAGE_ERASE}}$	Time to Erase a 2kB Page (Note 12)				21	ms
$t_{\text{MASS_ERASE}}$	Time to Erase 256kB Flash Bank (Note 12)				21	ms
	Data Retention	25°C 85°C 105°C	100 20 8			Years Years Years

フラッシュSPIスレーブのAC特性

●は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{\text{SUPPLY}} = 3.6\text{V}$ 。(Note 13)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$t_{\text{FP_EN_to_RESET}}$	Setup from Assertion of FLASH_P_ENn to Assertion of RESETn		0			ns
$t_{\text{FP_ENTER}}$	Delay from the Assertion RESETn to the First Falling Edge of IPCS_SSn		125			μs
$t_{\text{FP_EXIT}}$	Delay from the Completion of the Last Flash SPI Slave Transaction to the Negation of RESETn and FLASH_P_ENn		10			μs
t_{SSS}	IPCS_SSn Setup to the Leading Edge of IPCS_SCK		15			ns
t_{SSH}	IPCS_SSn Hold from Trailing Edge of IPCS_SCK		15			ns
t_{CK}	IPCS_SCK Period		50			ns
t_{DIS}	IPCS_MOSI Data Setup		15			ns
t_{DIH}	IPCS_MOSI Data Hold		5			ns
t_{DOV}	IPCS_MISO Data Valid		3			ns
t_{OFF}	IPCS_MISO Data Tri-State		0		30	ns

フラッシュSPIスレーブのAC特性

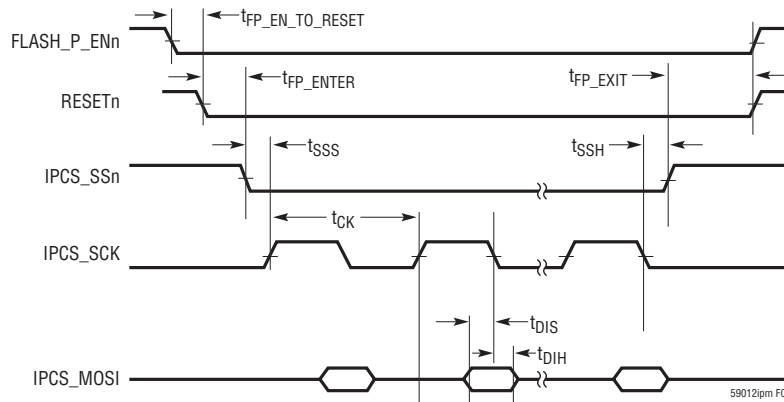


図 4. フラッシュのプログラミング・インタフェースのタイミング

Note 1: 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的の損傷を与える可能性がある。長期にわたって絶対最大定格条件に曝すと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与える恐れがある。

Note 2: ESD (静電気放電) の影響を受けやすいデバイス。ESD 保護デバイスは Eterna の内部に広範囲にわたって使用されている。ただし、高電圧の静電気放電はデバイスを損傷または劣化させる可能性がある。ESD 取り扱いの適切な予防策を講じること。

Note 3: Eterna の校正データのデータ保持に悪影響を及ぼすので、高温での長期保存は避けること。詳細は、「フラッシュのデータ保持」セクションを参照。

Note 4: 実際の RF 範囲は設置に固有の変数の数によって異なる。変数には、周囲温度、相対湿度、活動状態の干渉源の存在、見通し線の遮断障害物、多経路フェージングを誘発する可能性がある物体 (樹木、壁面、看板など) が近くに存在するかどうかを含むが、それに限定されない。このため、範囲は変化する。

Note 5: IEEE Std.802.15.4-2006: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4-2011.html> の規定に基づく。

Note 6: IEEE Std.802.15.4-2006 では、トランスミッタが $\pm 40\text{ppm}$ より優れた周波数の許容範囲を維持することを要求している。

Note 7: ピンごとの I/O タイプは「ピン機能」セクションに示す。

Note 8: VIH の最大入力電圧は VSUPPLY の最大電圧規格を基準にする必要がある。

Note 9: A/D コンバータのアナログ入力はコンデンサに直列接続した抵抗としてモデル化できる。最低でも、アナログ入力を駆動する信号の信号源インピーダンスを含む回路全体をサンプリング期間内に $1/4$ LSB 以内に安定化するように設計して、A/D コンバータの性能に適合させる必要がある。

Note 10: 時間指示の通知定義については、「SmartMesh IP Mote API Guide」を参照。

Note 11: ネットワーク時間の精度は統計上の基準であり、全温度範囲で変化し、ネットワーク内でのマネージャを基準にしたデバイスの位置およびレートを通知する。詳細な説明については、「標準的性能特性」セクションを参照。

Note 12: 書き込みまたは消去対象コードのフラッシュ・バンクからの実行は、フラッシュ動作が完了するまで一時停止する。

Note 13: 設計により保証されている。量産時にはテストされない。

標準的性能特性

ネットワーク・モートは、通常、マネージャを送信先とするトラフィックを2つ以上の親を経由して送ります。図5に示す電源電流のグラフには、子孫(下位ノード)と呼ばれるパラメータが記載されています。これらのグラフでは、子孫という用語はトラフィックで重み付けされた子孫の省略形であり、すべてのネットワーク・トラフィックが該当モートに送信されたと仮定した場合、子孫の数と等価な活動量を指します。通常、1つの親の子孫の数は、トラフィックで重み付けされた子孫の数より多数(通常は2倍以上)です。たとえば、図6を参照すると、ネットワーク・グラフ・モートP1のトラフィックで重み付けされた子孫の数は0.75です。この値を得るには、モートD1はそのパケットの半分をモートP1を経由して転送するので、トラフィックで重み付けされた子孫の値に0.5が加算されることに注意してください。D1の残りの半分のトラフィックは別の親(P2)を経由して転送されます。モートD2はそのパケットの半分をモートD1を経由して(残りの半分は親P3を経由して)転送するので、そのパケットの半分はモートP1に転送されることが分かり、トラフィックで重み付けされた子孫の値にさらに0.25を加算して、トラフィックで重み付けされた子孫の合計値は0.75になります。

「アプリケーションの時間同期」セクションで説明したように、Eternaは、アプリケーションがネットワーク全体にわたって時間基準を維持するための2つの仕組みを備えています。以下に示す同期性能のグラフは、より高精度のTIMEn入力を使用して作成されました。発行レートは、モート・アプリケーションが上流のデータを送信する速度です。発行レートが高くなるにつれて同期は改善されます。基準線となる同期性能は、発行レートがゼロで動作するネットワークに対して与えられます。ネットワークでのアプリケーションの実際の性能は、発行レートが高くなるにつれて向

上します。すべての同期テストは、恒温槽の内部で1ホップのモートを使って行われました。したがって、ネットワーク・マネージャとこのモートの間、およびこのモートとその子孫の間の両方の温度変化と温度差に起因するタイミング誤差は、ネットワークを通じて伝播します。このため、3ホップと5ホップのモートとマネージャとの同期は、モートが室温であっても温度の傾斜に影響されました。2°C/分のテストでは、恒温槽の温度が-40°C~85°Cの間を24時間にわたってこのレートで循環しました。8°C/分のテストでは、恒温槽の温度が85°C~45°Cの間を8時間にわたって急速に循環し、その後-5°C~45°Cの間を8時間、最後に-40°C~15°Cの間を8時間急速に循環しました。

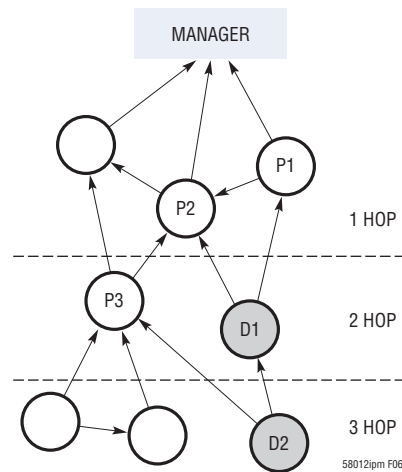


図6. ネットワーク例のグラフ

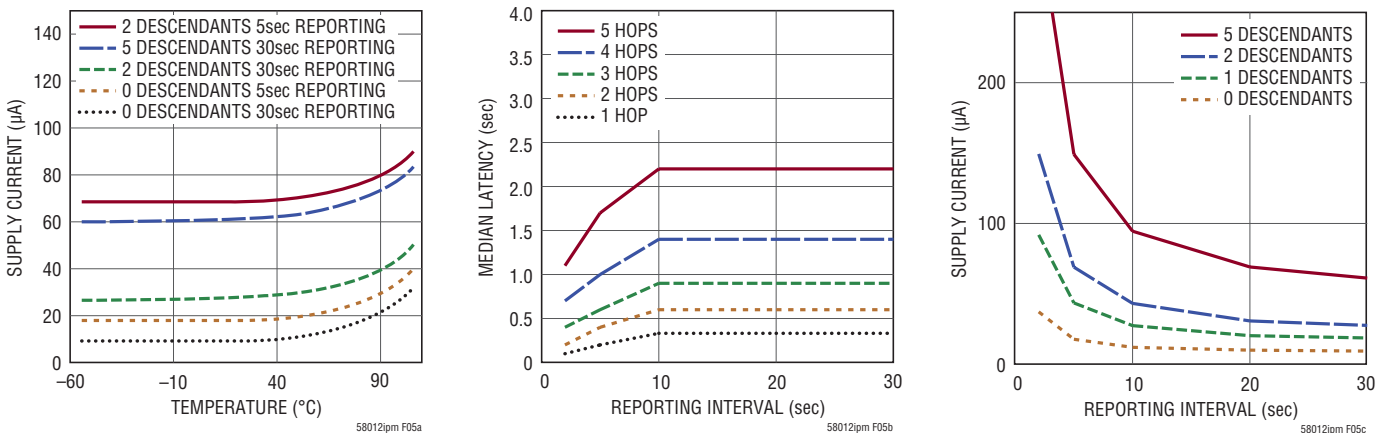
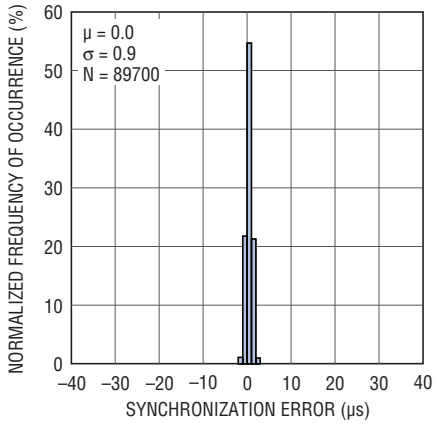


図5

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

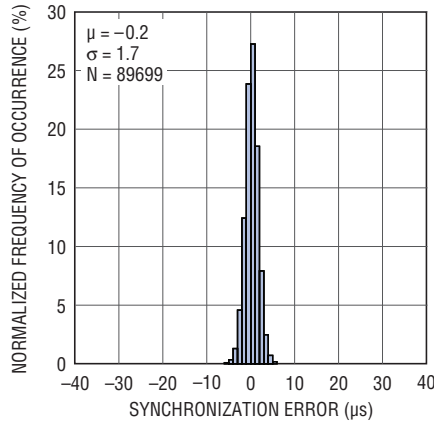
標準的性能特性

**TIMEnの同期誤差、
0パケット/秒の発行レート、
1ホップ、室温**



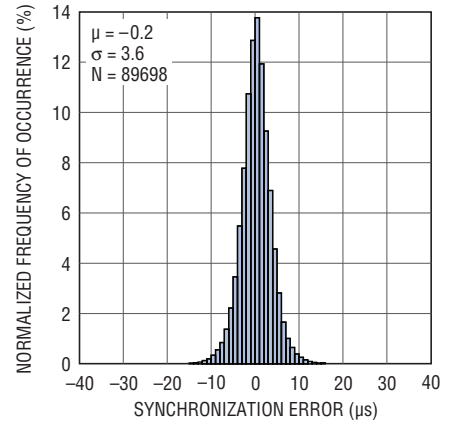
58012ipm G01

**TIMEnの同期誤差、
0パケット/秒の発行レート、
3ホップ、室温**



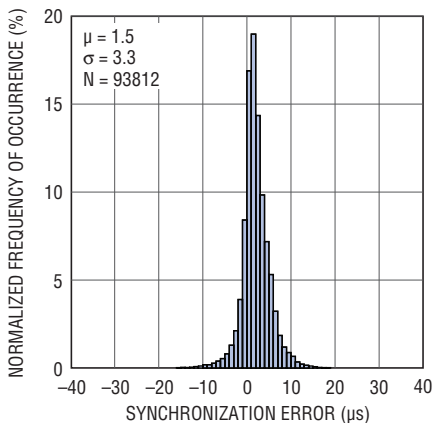
58012ipm G02

**TIMEnの同期誤差、
0パケット/秒の発行レート、
5ホップ、室温**



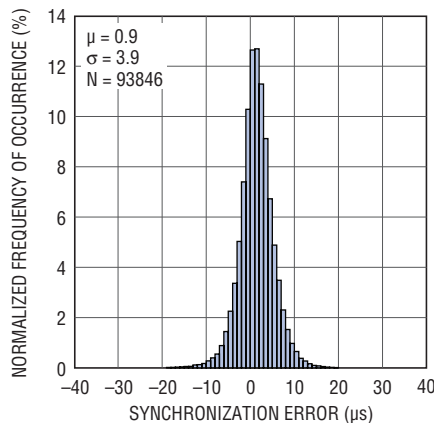
58012ipm G03

**TIMEnの同期誤差、
0パケット/秒の発行レート、
1ホップ、2°C/分**



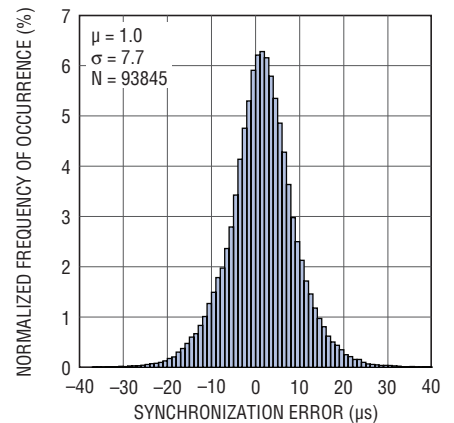
58012ipm G04

**TIMEnの同期誤差、
0パケット/秒の発行レート、
3ホップ、2°C/分**



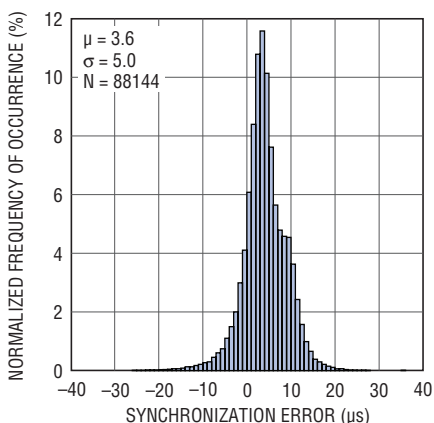
58012ipm G05

**TIMEnの同期誤差、
0パケット/秒の発行レート、
5ホップ、2°C/分**



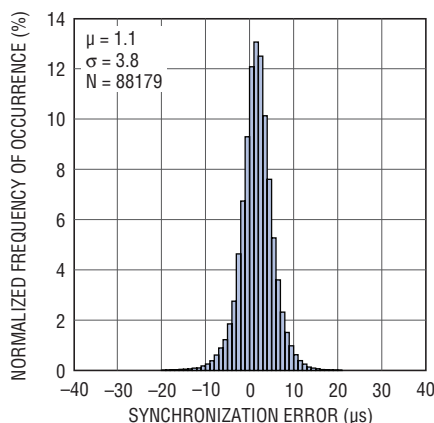
58012ipm G06

**TIMEnの同期誤差、
0パケット/秒の発行レート、
1ホップ、8°C/分**



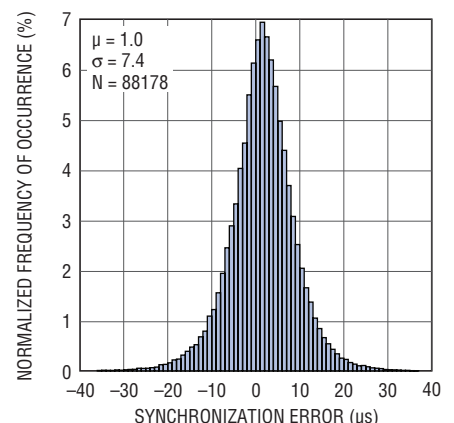
58012ipm G07

**TIMEnの同期誤差、
0パケット/秒の発行レート、
3ホップ、8°C/分**



58012ipm G08

**TIMEnの同期誤差、
0パケット/秒の発行レート、
5ホップ、8°C/分**

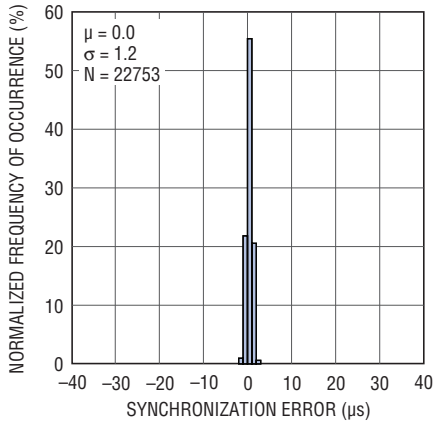


58012ipm G09

59012ipmf

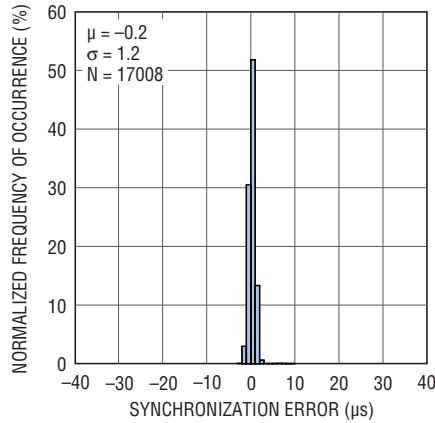
標準的性能特性

**TIMEnの同期誤差、
1パケット/秒の発行レート、
1ホップ、室温**



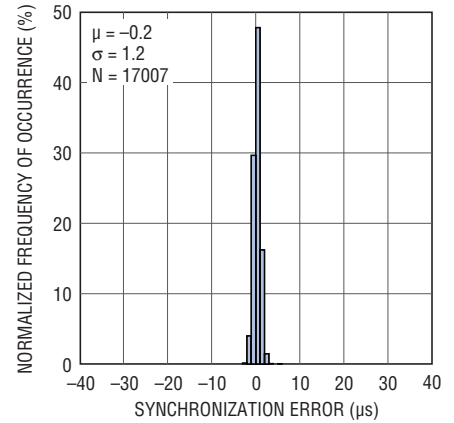
58012ipm G10

**TIMEnの同期誤差、
1パケット/秒の発行レート、
3ホップ、室温**



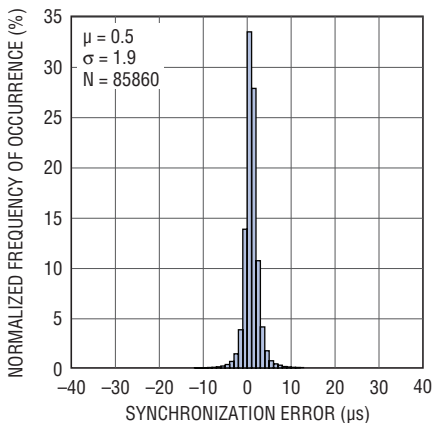
58012ipm G11

**TIMEnの同期誤差、
1パケット/秒の発行レート、
5ホップ、室温**



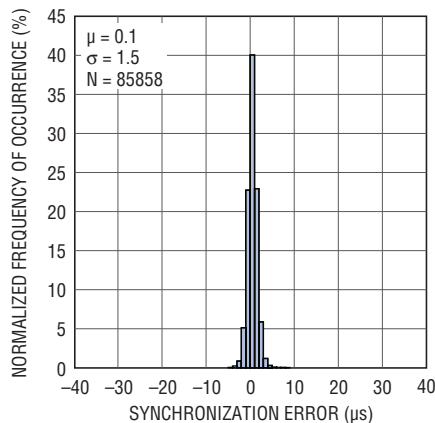
58012ipm G12

**TIMEnの同期誤差、
1パケット/秒の発行レート、
1ホップ、2°C/分**



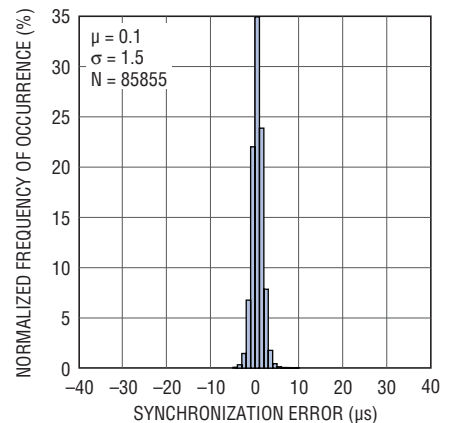
58012ipm G13

**TIMEnの同期誤差、
1パケット/秒の発行レート、
3ホップ、2°C/分**



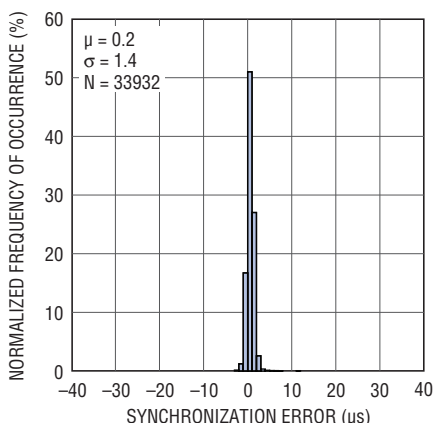
58012ipm G14

**TIMEnの同期誤差、
1パケット/秒の発行レート、
5ホップ、2°C/分**



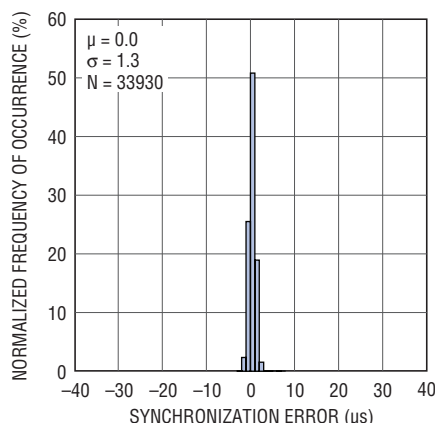
58012ipm G15

**TIMEnの同期誤差、
1パケット/秒の発行レート、
1ホップ、8°C/分**



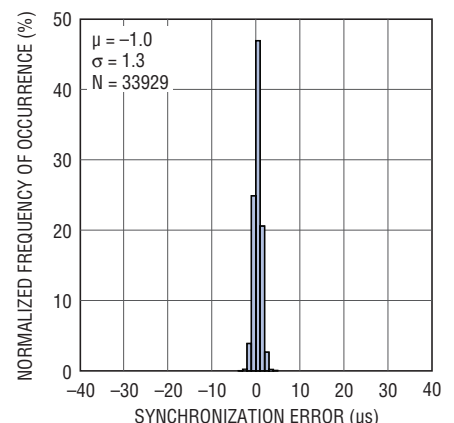
58012ipm G16

**TIMEnの同期誤差、
1パケット/秒の発行レート、
3ホップ、8°C/分**



58012ipm G17

**TIMEnの同期誤差、
1パケット/秒の発行レート、
5ホップ、8°C/分**



58012ipm G18

標準的性能特性

「SmartMesh ネットワークの概要」セクションで説明したように、ネットワーク内のデバイスはその大半の時間を消費電力が最も低い非活動状態(ドーズ状態)で費やします。同期スケジュールでは、モートが起動して他のモートと通信します。起動、機能の実行、スリープ状態へ戻る定常的な一連の動作はアトミック(不可分)とみなされます。有効な機能を実行している間、一連のイベントをそれより小さなイベントに分割できないので、これらの動作はアトミックとみなされます。たとえば、無線を介したパケットの伝送はアトミック動作です。アトミック動作は電荷またはエネルギーで特性が評価できます。モートがパケットを正常に送信したタイムスロットでは、メッセージ送信前の準備、メッセージの送信、アクノリッジの受信、およびメッセージの送信結果として必要な後処理がアトミック送信に含まれます。同様に、モートがパケットを正常に受信したタイムスロットでは、リスニング前の準備、パケット伝送開始までのリスニング、パケットの受信、アクノリッジの送信、およびパケットの到着によって必要になった後処理がアトミック受信に含まれます。

信頼性を確保するため、ネットワーク内の各モートは、形式上モートが送信して転送するパケットごとに複数のタイムスロットに用意されます。タイムスロットは、2つ以上の異なるモートと上流で通信するために割り当てられます。周波数ホッピングと組み合わせた場合、一時的、空間的、およびスペクトルの冗長性が得られます。送信側のモートはタイムスロットを使用しないので、このアプローチを想定すると、モートは決して受信しないメッセージを対象にリスニングすることが多くなります。このモートは既にパケットを正常に転送しています。通常は送信または転送される1つのパケットごとに3つのタイムスロットが予定されるので、モートがこれらのアトミック「アイドル・リスニング」を実行する回数は、アトミック送信シーケンスまたはアトミック受信シーケンスの回数より多くなります。送信、受信、およびアイドル・リスニング・アトミック動作の例を図7に示します。

標準的性能特性

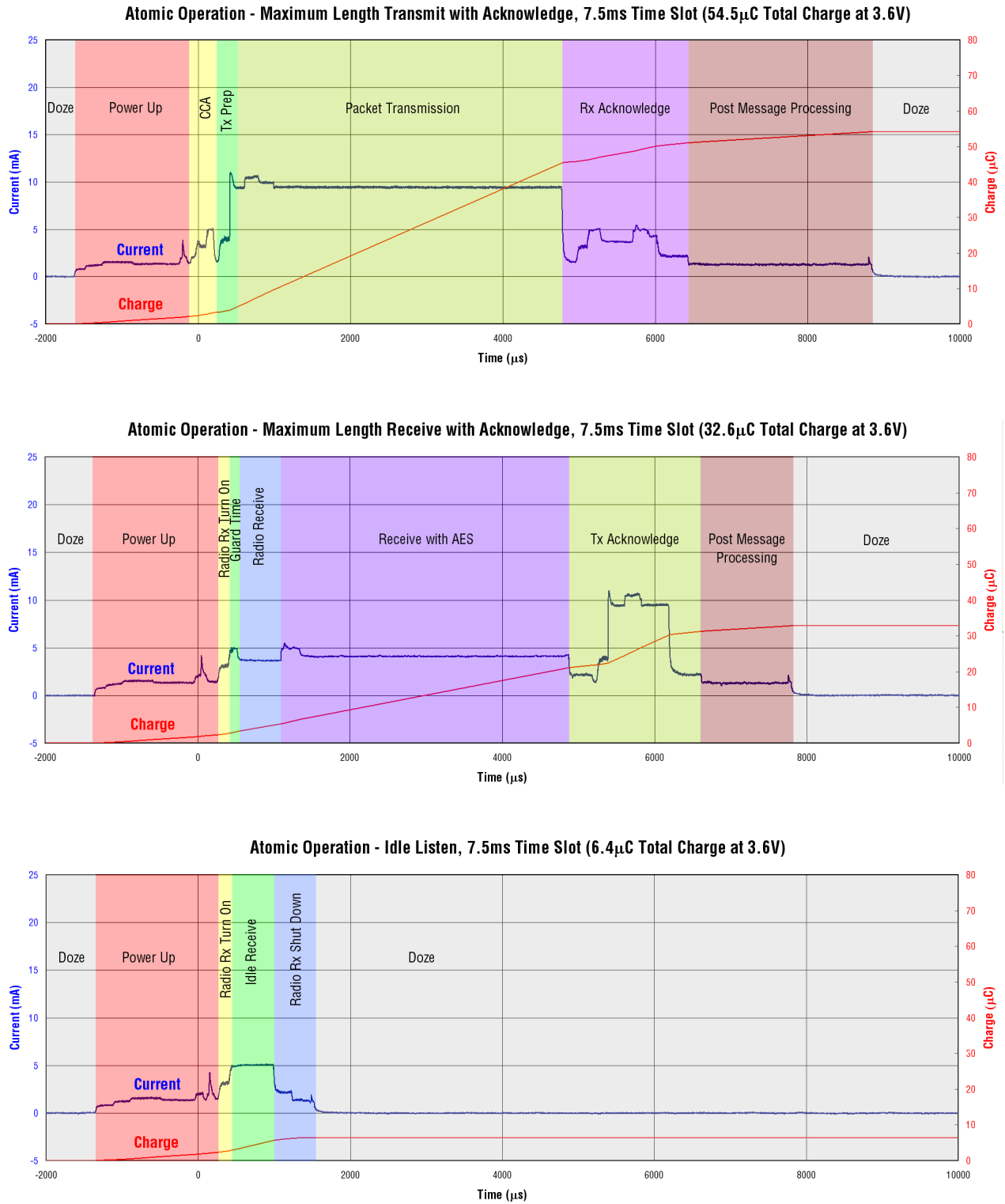


図 7

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

ピン機能 イタリック体で表示しているピン機能は、現時点ではソフトウェアでサポートされていません。

以下の表では、ピンを機能グループごとに整理しています。複数の機能を持つI/Oピンの場合、代替機能を該当列の2行目と3行目に示しています。「番号」列はピン番号を示します。2番目の列は機能を示します。「タイプ」列はI/Oタイプを示します。

「I/O」列は、Eternaに対する信号の向きを示します。「プル」列は、信号の固定受動回路がプルアップまたはプルダウンのどちらであるかを示します。「説明」列は、信号の簡単な説明を示します。

番号	電源	タイプ	I/O	プル	説明
1	GND	電源	-	-	グランド接続
11	GND	電源	-	-	グランド接続
20	GND	電源	-	-	グランド接続
30	GND	電源	-	-	グランド接続
34	GND	電源	-	-	グランド接続
37	GND	電源	-	-	グランド接続
42	GND	電源	-	-	グランド接続
56	GND	電源	-	-	グランド接続
66	GND	電源	-	-	グランド接続
55	VSUPPLY	電源	-	-	Eternaへの電源入力

番号	無線	タイプ	I/O	プル	説明
64	RADIO_INHIBIT <i>GPIO15</i>	1 (Note 14)	I <i>I/O</i>	- -	無線禁止 <i>汎用デジタルI/O</i>
4	<i>GPIO17</i>	1	<i>I/O</i>	-	<i>汎用デジタルI/O</i>
5	<i>GPIO18</i>	1	<i>I/O</i>	-	<i>汎用デジタルI/O</i>
6	<i>GPIO19</i>	1	<i>I/O</i>	-	<i>汎用デジタルI/O</i>
-	ANTENNA	N/A	N/A	-	チップ・アンテナ(LTP5901)またはMMCXコネクタ(LPT5902)

番号	アナログ	タイプ	I/O	プル	説明
7	AI_2	アナログ	I	-	アナログ入力2
8	AI_1	アナログ	I	-	アナログ入力1
9	AI_3	アナログ	I	-	アナログ入力3
10	AI_0	アナログ	I	-	アナログ入力0

番号	リセット	タイプ	I/O	プル	説明
15	RESETn	1	I	アップ	リセット入力、アクティブ“L”

番号	JTAG	タイプ	I/O	プル	説明
16	TDI	1	I	アップ	JTAGテストのデータ入力
17	TDO	1	O	-	JTAGテストのデータ出力
18	TMS	1	I	アップ	JTAGテストのモード選択
19	TCK	1	I	ダウン	JTAGテストのクロック

ピン機能 イタリック体で表示しているピン機能は、現時点ではソフトウェアでサポートされていません。

番号	GPIO (NOTE 14)	タイプ	I/O	プル	説明
21	DP4 (GPIO23)	1	I/O	-	汎用デジタルI/O
25	DP3 (GPIO22) <i>TIMER8_EXT</i>	1	I/O <i>/</i>	- -	汎用デジタルI/O 8ビット・タイマ/カウンタへの外部入力
26	DP2 (GPIO21) <i>LPTIMER_EXT</i>	1	I/O <i>/</i>	- -	汎用デジタルI/O 低消費電力タイマ/カウンタへの外部入力
28	<i>DP0 (GPIO0)</i> <i>SPIM_SS_2n</i>	<i>1</i>	<i>I/O</i> <i>0</i>	- -	<i>汎用デジタルI/O</i> <i>SPI</i> マスタのスレーブ選択2、アクティブ“L”
45	DP1 (GPIO20) <i>TIMER16_EXT</i>	1	I/O <i>/</i>	- -	汎用デジタルI/O 16ビット・タイマ/カウンタへの外部入力

番号	特殊用途	タイプ	I/O	プル	説明
27	<i>SLEEPn</i> <i>GPIO14</i>	<i>1 (Note 14)</i>	<i>/</i> <i>I/O</i>	- -	深いスリープ状態、アクティブ“L” 汎用デジタルI/O
46	<i>PWM0</i> <i>TIMER16_OUT</i> <i>GPIO16</i>	2	<i>0</i> <i>0</i> <i>I/O</i>	- - -	パルス幅変調器0 16ビット・タイマ/カウンタ突き合わせ出力/PWM出力 汎用デジタルI/O
63	<i>TIMEn</i> <i>GPIO1</i>	<i>1 (Note 14)</i>	<i>/</i> <i>I/O</i>	- -	時刻取り込み要求、アクティブ“L” 汎用デジタルI/O

番号	CLI	タイプ	I/O	プル	説明
31	UARTC0_TX	2	0	-	CLI UART 0送信側
32	UARTC0_RX	1	<i>/</i>	アップ	CLI UART 0受信側

番号	SPIマスタ	タイプ	I/O	プル	説明
38	<i>SPIM_MISO</i> <i>GPIO11</i>	<i>1</i>	<i>/</i> <i>I/O</i>	- -	<i>SPI</i> マスタの(MISO) マスタ入カスレーブ出力ポート 汎用デジタルI/O
40	<i>SPIM_MOSI</i> <i>GPIO10</i>	2	<i>0</i> <i>I/O</i>	- -	<i>SPI</i> マスタの(MOSI) マスタ出カスレーブ入力ポート 汎用デジタルI/O
41	<i>SPIM_SCK</i> <i>GPIO9</i>	2	<i>0</i> <i>I/O</i>	- -	<i>SPI</i> マスタの(SCK) シリアル・クロック・ポート 汎用デジタルI/O
43	<i>SPIM_SS_1n</i> <i>GPIO13</i>	<i>1</i>	<i>0</i> <i>I/O</i>	- -	<i>SPI</i> マスタのスレーブ選択1、アクティブ“L” 汎用デジタルI/O
44	<i>SPIM_SS_0n</i> <i>GPIO12</i>	<i>1</i>	<i>0</i> <i>I/O</i>	- -	<i>SPI</i> マスタのスレーブ選択0、アクティブ“L” 汎用デジタルI/O

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

ピン機能 *イタリック体で表示しているピン機能は、現時点ではソフトウェアでサポートされていません。*

番号	IPCS SPI/フラッシュのプログラミング (NOTE 16)	タイプ	I/O	プル	説明
33	IPCS_MISO <i>TIMER16_OUT</i> GPIO6	2	I O I/O	- - -	SPIフラッシュ・エミュレーションの(MISO)マスタ入力スレーブ出力ポート 16ビット・タイマ/カウンタ突き合わせ出力/PWM出力 汎用デジタルI/O
35	IPCS_MOSI <i>TIMER16_EXT</i> GPIO5	1	I I I/O	- - -	SPIフラッシュ・エミュレーションの(MOSI)マスタ出力スレーブ入力ポート 16ビット・タイマ/カウンタへの外部入力 汎用デジタルI/O
36	IPCS_SCK <i>TIMER8_EXT</i> GPIO4	1	I I I/O	- - -	SPIフラッシュ・エミュレーションの(SCK)シリアル・クロック・ポート 8ビット・タイマ/カウンタへの外部入力 汎用デジタルI/O
39	IPCS_SS <i>n</i> <i>LPTIMER_EXT</i> GPIO3	1	I I I/O	- - -	SPIフラッシュ・エミュレーションのスレーブ選択、アクティブ“L” 低消費電力タイマ/カウンタへの外部入力 汎用デジタルI/O
51	FLASH_P_EN <i>n</i>	1	I	アップ	フラッシュ・プログラムのイネーブル、アクティブ“L”

番号	I ² C/単線式/SPIスレーブ	タイプ	I/O	プル	説明
47	<i>SPI_S_MISO</i> <i>UART1_TX</i> <i>1_WIRE</i>	2	O O I/O	- - -	SPIスレーブの(MISO)マスタ入力スレーブ出力ポート CLI UART 1送信側 単線式マスタ
48	<i>SPI_S_MOSI</i> <i>UART1_RX</i> GPIO26	1	I I I/O	- - -	SPIスレーブの(MOSI)マスタ出力スレーブ入力ポート CLI UART 1受信側 汎用デジタルI/O
49	<i>SPI_S_SCK</i> <i>SCL</i>	2	I I/O	- -	SPIスレーブの(SCK)シリアル・クロック・ポート I ² Cシリアル・クロック
50	<i>SPI_S_SS<i>n</i></i> <i>SDA</i>	2	I I/O	- -	SPIスレーブ選択、アクティブ“L” I ² Cシリアル・データ

番号	API UART	タイプ	I/O	プル	説明
57	UART_RX_RT <i>S</i> <i>n</i>	1 (Note 14)	I	-	UART受信側(RTS)送信要求、アクティブ“L”
58	UART_RX_CT <i>S</i> <i>n</i>	1	O	-	UART受信側(CTS)送信可、アクティブ“L”
59	UART_RX	1 (Note 14)	I	-	UART受信側
60	UART_TX_RT <i>S</i> <i>n</i>	1	O	-	UART送信側(RTS)送信要求、アクティブ“L”
61	UART_TX_CT <i>S</i> <i>n</i>	1 (Note 14)	I	-	UART送信側(CTS)送信可、アクティブ“L”
62	UART_TX	2	O	-	UART送信側

Note 14: これらの入力は常にイネーブルされており、有効な状態に駆動するかプルアップ/プルダウンして漏れを防止する必要がある。

Note 15: その他のGPIOポートについては、ピン40、42、44、および45も参照。

Note 16: RESET*n*がアサートされている場合は、IPCS SPIバスを介した組み込みプログラミングのみが使用可能。

ピン機能

VSUPPLY : システムおよび入出力の電源。モジュールに電力を供給します。デジタル・インタフェースのI/O電圧もこの電圧によって設定されます。

ANTENNA : レシーバ入力とトランスミッタ出力の多重化ピン。MMCXコネクタに現れるインピーダンスは、グラウンドを基準にしたシングルエンドで50Ωになります。

AI_0、AI_1、AI_2、AI_3 : アナログ入力。これらのピンはアナログ入力チェーンに多重化されています。図8に示すように、アナログ入力チェーンはソフトウェアで設定可能であり、可変利得アンプ、入力範囲調整用のオフセットD/Aコンバータ、および10ビットA/Dコンバータを内蔵しています。有効な入力範囲は0V～1.8Vです。アナログ入力は、「信号/データの取得と制御」セクションに説明する方法でサンプリングできます。

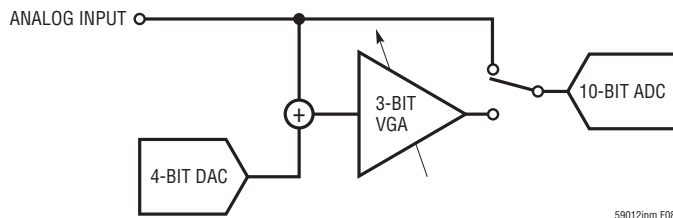


図8. アナログ入力チェーン

RESETn : 非同期的リセット信号は内部でプルアップされています。EternaをリセットするとARM Cortex M3が再起動し、ネットワーク接続が失われます。電源投入時とインサーキット・プログラミング時を除いて、Eternaをリセットするためにこの信号を使用することは推奨しません。

RADIO_INHIBIT : RADIO_INHIBITは、外部デバイスが無線動作を一時的にディスエーブルするための仕組みを確保します。「Radio_InhibitのAC特性」セクションに規定されているタイミング要件に従うことができないと、信頼できないネットワーク動作になる可能性があります。RADIO_INHIBIT機能が必要ない設計では、入力を“L”に接続するか、プルダウンするか、またはアクティブに駆動して、過剰な漏れを防止する必要があります。

TMS、TCK、TDI、TDO : JTAGポート対応ソフトウェアのデバッグおよびバウンダリ・スキャン。

SLEEPn : SLEEPn機能は、現時点ではソフトウェアでサポートされていません。SLEEPn入力は“H”に接続するか、プルアップするか、またはアクティブに駆動して、過剰な漏れを防止する必要があります。

UART_RX、UART_RX_RTSn、UART_RX_CTSn、UART_TX、UART_TX_RTSn、UART_TX_CTSn : API UARTインタフェースには、双方向の起動制御およびフロー制御機能が組み込まれています。未使用の入力信号は信号の非アクティブ状態に駆動するかプルアップ/プルダウンで非アクティブ状態にする必要があります。

TIMEn : Eternaによって保持されているネットワーク時間を取り込む最も正確な方法は、TIMEn入力にストローブ信号を入力する方法です。Eternaは、TIMEn信号の立ち上がりエッジでミリ秒未満の分解能でネットワーク・タイムスタンプをラッチし、タイミング情報を記録したパケットをAPIシリアル・ポートで生成します。

UARTCO_RX、UARTCO_TX : CLI UARTは、動作中にEternaのモニタ、構成、および制御を行うための仕組みを確保します。サポートされているコマンドの詳細な記述については、『SmartMesh IP Mote CLI Guide』を参照してください。

GPIO3、GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO20、GPIO21、GPIO22、GPIO23、GPIO26 : 「信号/データの取得と制御」セクションに説明する方法でサンプリングまたは駆動できる汎用I/Oです。

FLASH_P_ENn、IPCS_SSn、IPCS_SCK、IPCS_MISO、IPCS_SS : インサーキット・プログラミング制御システム(IPCS)バスにより、Eternaのフラッシュ・メモリのインサーキット・プログラミングが可能になります。IPCS_SCKはクロックであり、オーバーシュートやリングングを防ぐための駆動源として適切に終端する必要があります。

動作

電源モニタとリセット

Eternaはパワーオン・リセット(PoR)回路を内蔵しています。RESETn入力ピンは、公称では内部プルアップ抵抗で構成されているので、接続の必要はありません。シャットダウンを正常に行うため、ソフトウェアとネットワーク層はRESETnピンのアサーションの前にAPIコマンドを介して明確に停止している必要があります。切断コマンドおよびリセット・コマンドの詳細については、『SmartMesh IP Mote API Guide』を参照してください。Eternaは、フラッシュへの書き込み中に電源が取り外された場合、フラッシュが損傷しないよう完全に保護するソフト電圧低下モニタを内蔵しています。内蔵のフラッシュ監視機能と耐フォルト型のファイル・システムの組み合わせにより、堅牢な不揮発性メモリ・ソリューションが得られます。

高精度のタイミング

競合する802.15.4製品に勝るEternaの主な特長は、低消費電力専用タイミング・ハードウェアおよびタイミング・アルゴリズムです。この機能により、本データシートの発行時点で入手可能な他の低消費電力ソリューションより2、3桁精度の高いタイミング精度が得られます。タイミング精度の向上により、パケットの受信を保証するために必要な無線リスニング時間の長さをモートが最小限に抑えることができるので、その結果、SmartMeshネットワークの消費電力はさらに低下します。Eternaの特許取得済みのタイミング・ハードウェアおよびタイミング・アルゴリズムにより、温度が急速に変化したときに優れた性能が発揮され、他のワイヤレス製品と比較した場合にEternaの信頼性がいっそう際立ちます。さらに、高精度のタイミングにより、ネットワークがスペクトルのデッドタイムを低減して、ネットワークの総スループットを高めることができます。

アプリケーションの時間同期

ユーザーには意識されない、ネットワーク全体にわたるタイムスロットの調整の他に、Eternaのタイミング管理機能を使用して、ネットワーク時間を共有する2つの仕組みをサポートします。高精度で共有された、ネットワーク規模の時間基準があることにより、イベントにタイムスタンプを正確に刻むことや、作業をネットワーク全体にわたって同期方式で実行することができます。次のいずれかが行われると、Eternaはそのシリアル・インタフェースを介して時間パケットを送信します。

- Eternaが時刻を読み取るAPI要求を受信する
- TIME_n信号がアサートされる

TIME_nを使用する利点は精度の向上です。タイムスタンプの値は、TIME_nの立ち上がりエッジを基準にしてハードウェアに取り込まれます。API要求を使用した場合は、パケット処理が原因で、タイムスタンプの値がパケットの受信後数ミリ秒後に取り込まれることがあります。時間機能の定義および仕様については、「TIME_nのAC特性」セクションを参照してください。

時間基準

Eternaは3つのクロック信号源を内蔵しています。それは、内部弛張発振器、32.768kHz水晶発振器用に設計された低消費電力の発振器、および20MHz水晶発振器用に設計された無線基準発振器です。

弛張発振器

弛張発振器はEternaの主なクロック信号源であり、CPU、メモリ・サブシステム、およびすべての周辺機器にクロックを供給します。内部弛張発振器は、7.3728MHzに動的に校正されます。内部弛張発振器は、通常は数 μ s以内に起動し、アクティブ状態と低消費電力状態とを繰り返す好都合で低エネルギーの方法を実現します。ドーズ状態(「状態図」セクションで定義)から急速に起動すると、該当信号の動きを検出するだけで、Eternaを起動してUARTおよびSPIインタフェースを介してデータを受信することができます。

32.768kHz水晶発振器

Eternaの電源が投入されて32.768kHz水晶発振器信号源が発振を開始すると、32.768kHz水晶発振器はアクティブ状態時も動作状態が維持され、ドーズ状態時にはタイミングの基準として使用されます。Eternaの動作状態の説明については、「状態図」セクションを参照してください。

20MHz水晶発振器

20MHz水晶発振器信号源は無線部の周波数リファレンスを供給し、またEternaにより、必要に応じて自動的にイネーブルまたはディスエーブルされます。

動作

無線

Eternaは、商品化されている低消費電力の2.4GHz IEEE 802.15.4e無線部を相当な余裕をもって内蔵しています。(電力消費量の数値については、「無線規格」セクションを参照してください)。Eternaに内蔵されているパワーアンプは、世界規模の無線認証規格に適合した制限値内で電力を着実に供給するよう校正され、温度補償されています。さらにEternaは、トランスミッタ、レシーバ、高度暗号化標準(AES)周辺機器などの周辺機器の高精度シーケンス制御を処理するハードウェア・ベースの自律MACを独自に内蔵しています。ハードウェア・ベースの自律メディア・アクセス・コントローラ(MAC)により、CPUの動作が最小限に抑えられるので、電力消費量はいつも低減されます。

UART

主要なネットワーク・インタフェースは、アプリケーション・プログラミング・インタフェース(API)UARTを介しています。テスト機能およびデバッグ機能をサポートするため、コマンドライン・インタフェース(CLI)も用意されています。2種類のUARTは両方とも動作を絶えず検出し、データがポートを介して転送されるまで実質的に電力を消費せず、転送終了後その最も低消費電力の状態に自動的に戻ります。API UARTインタフェースでのパケット・コード化の定義は『SmartMesh IP Mote API Guide』に記載されており、CLIコマンド定義は『SmartMesh IP Mote CLI Guide』に記載されています。

API UARTのプロトコル

API UARTプロトコルは、システムの電力消費量を低減しながら、広範なコンパニオン多点制御装置(MCU)をサポートすることを目標に作成されました。API UARTプロトコルの受信側の半分には、UART_RXの他に2つの付加的な信号があります。それは、UART_RX_RTSnとUART_RX_CTSnです。API UARTプロトコルの送信側の半分には、UART_TXの他に2つの付加的な信号があります。それは、UART_TX_RTSnとUART_TX_CTSnです。API UARTプロトコルはモード4と呼ばれます。

プロトコルの説明を示す図では、コンパニオン・プロセッサが駆動する信号を黒で表記し、Eternaが駆動する信号を青で表記しています。

UARTモード4

UARTモード4はレベル感度の高いフロー制御をTXチャンネルで実装しており、RXチャンネルではフロー制御が不要で、115200ボーをサポートしています。レベル感度の高いフロー制御信号を使用すると、短縮した一連のフロー制御信号を使用するオプションにより、高いデータ・レートが可能になります。ただし、コンパニオン・プロセッサはパケットの終わりに達する前にUART_TX_CTSnを否定しておく必要があり、パケット送信の間で少なくともtRX_RTS to RX_CTSは待機する必要があります。完全なタイミング仕様については、「UARTのAC特性」セクションを参照してください。パケットはHDLCでコード化され、ストップ・ビットが1ビットでパリティ・ビットはありません。モード4におけるRXフロー制御信号(UART_RX_RTSnおよびUART_RX_CTSn)の使用はオプションです。TXチャンネルのフロー制御信号を図10に示します。UARTモード4の送信フロー制御UART_TX_RTSnをアサートしているEternaによって転送が開始されます。パケットの受信準備が完了したら、UART_TX_CTSn信号をコンパニオン・プロセッサでアクティブに駆動できます。あるいは、コンパニオン・プロセッサのパケット受信準備が常時整っている場合は、UART_TX_CTSnを“L”に接続することができます。UART_TX_CTSnでロジック「0」を検出後、Eternaは全パケットを送信します。Eternaはパケットの最終バイトの送信後、UART_TX_RTSnを否定し、「UARTのAC特性」セクションで定義されている最短期間の待機後、UART_TX_RTSnを再度アサートします。

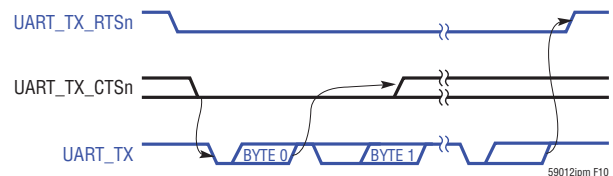


図10. UARTモード4の送信フロー制御

UARTプロトコルのタイミングの詳細については、「UARTのAC特性」セクションを参照してください。

CLI UART

コマンドライン・インタフェース(CLI)UARTポートは、固定の9600ボーレートで動作し、ストップ・ビットが1ビットでパリティ・ビットのない2線式プロトコル(TXおよびRX)です。CLI UARTインタフェースは、コマンドラインの命令および応答動作をサポートすることを目的としています。

動作

自律 MAC

Eterna は、信頼性が高く、超低消費電力で安全なネットワークを実現するシステム・ソリューションとして設計されました。変化する環境で動作を動的に最適化できる高信頼ネットワークでは、複雑過ぎてハードウェアによる加速化だけでは完全にはサポートできないソリューションが要求されます。「高精度のタイミング」セクションで説明しているように、低消費電力かつ高信頼性のソリューションを最適化するには、適切な時間管理が不可欠です。これらの要求に対応するため、Eterna は自律 MAC を備えており、自律 MAC には、時間が肝要なすべての無線動作を制御するためのコプロセッサが組み込まれています。自律 MAC には利点が 2 つあります。まず、変わりやすいソフトウェア待ち時間がネットワークのタイミングに影響するのを防止します。次に、大半の無線動作時に CPU を非アクティブ状態に維持できることにより、システムの電力消費量が大幅に減少します。自律 MAC は無線および無線関連機能のソフトウェアに依存しないタイミング制御を実現するので、優れた信頼性と並外れた低消費電力が得られます。

セキュリティ

ネットワーク・セキュリティは、包括的なネットワーク・ソリューションで見過ごされがちな要素です。セキュリティ・プロトコルを適切に実装することは、技術的な労力と OEM 製品の市場価値の両方の観点から重要です。Eterna システム・ソリューションは、MAC およびネットワーク層での認証および暗号化をモートごとに異なる鍵を使用して組み込んだ FIPS-197 検証済みの暗号化方式を実現します。これにより、終端間のセキュリティが確保できるだけでなく、モートが何らかの形で危険にさらされている場合でも、他のモートからの通信は引き続き安全です。安全な鍵交換のメカニズムにより、鍵を新規の状態に保持できます。物理的な攻撃を阻止するため、Eterna にはデバイスを電子的にロックするハードウェア・サポートが組み込まれています。これにより、Eterna のフラッシュ・メモリと RAM メモリ、さらにそこに保存されている鍵とコードにアクセスできないようにしています。

温度センサ

Eterna は、校正された温度センサをチップ上に組み込んでいます。温度測定値は Eterna のシリアル API を介してローカルに読み取る以外に、ネットワーク・マネージャ経由でも得ることができます。温度センサの性能特性は「温度センサ特性」セクションに記載されています。

無線禁止

RADIO_INHIBIT 入力を使用すると、外部コントローラが無線ソフトウェア・ドライバを一時的にディスエーブルすることができます(たとえば、無線妨害の影響を受けやすいセンサ値の読み取り時)。RADIO_INHIBIT がアサートされると、ソフトウェア無線ドライバはクリア・チャンネル評価、パケット送信、パケット受信などの無線動作を禁止します。RADIO_INHIBIT がアサートされたとき現行のタイムスロットで無線がアクティブである場合、無線がディスエーブルされるのは現在の動作完了後となります。RADIO_INHIBIT に関連したタイミングの詳細については、「Radio_Inhibit の AC 特性」セクションを参照してください。

工場インストール済みソフトウェア

この製品は、ソフトウェアをデバイス内にプログラミングした状態で供給されます。デバイスは、CLI または API ポートのいずれかを通して構成できます。構成コマンドと設定は、『SmartMesh IP Mote API Guide』および『SmartMesh IP Mote CLI Guide』に定義されています。

フラッシュのデータ保持

Eterna は、校正結果、固有 ID、構成設定、およびソフトウェア・イメージを格納するフラッシュ(不揮発性メモリ)を内蔵しています。フラッシュは全動作温度範囲でデータを保持します。「電気的特性」と「絶対最大定格」のセクションを参照してください。

-40°C ~ 85°C の動作温度範囲外での非破壊記憶が可能です。ただし、保持特性が劣化する可能性があります。

85°C を超える温度でのフラッシュの保持特性の劣化は、次式を使って無次元の加速係数を計算することにより、近似することができます。

$$AF = e^{\left[\left(\frac{E_a}{k} \right) \left(\frac{1}{T_{USE} + 273} - \frac{1}{T_{STRESS} + 273} \right) \right]}$$

ここで、

AF = 加速係数

E_a = 活性化エネルギー = 0.6eV

k = 8.625 · 10⁻⁵ eV/K

T_{USE} = 規定の保持温度(°C)

T_{STRESS} = 実際の保存温度(°C)

動作

例：温度 105°C で保存した場合の保持特性への影響を計算します。

$$T_{\text{STRESS}} = 105^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{USE}} = 85^{\circ}\text{C}$$

$$\text{AF} = 2.8$$

したがって、フラッシュの総合的な保持特性は係数 2.8 で劣化し、データ保持性能は 85°C 時の 20 年から 105°C 時の 7.1 年に低下します。

状態図

超低消費電力の他に能力と柔軟性を発揮するため、図 11 に示すように、Eterna はさまざまな状態で動作します。このセクションに Eterna の状態図を示します。赤で示す状態遷移は非推奨です。

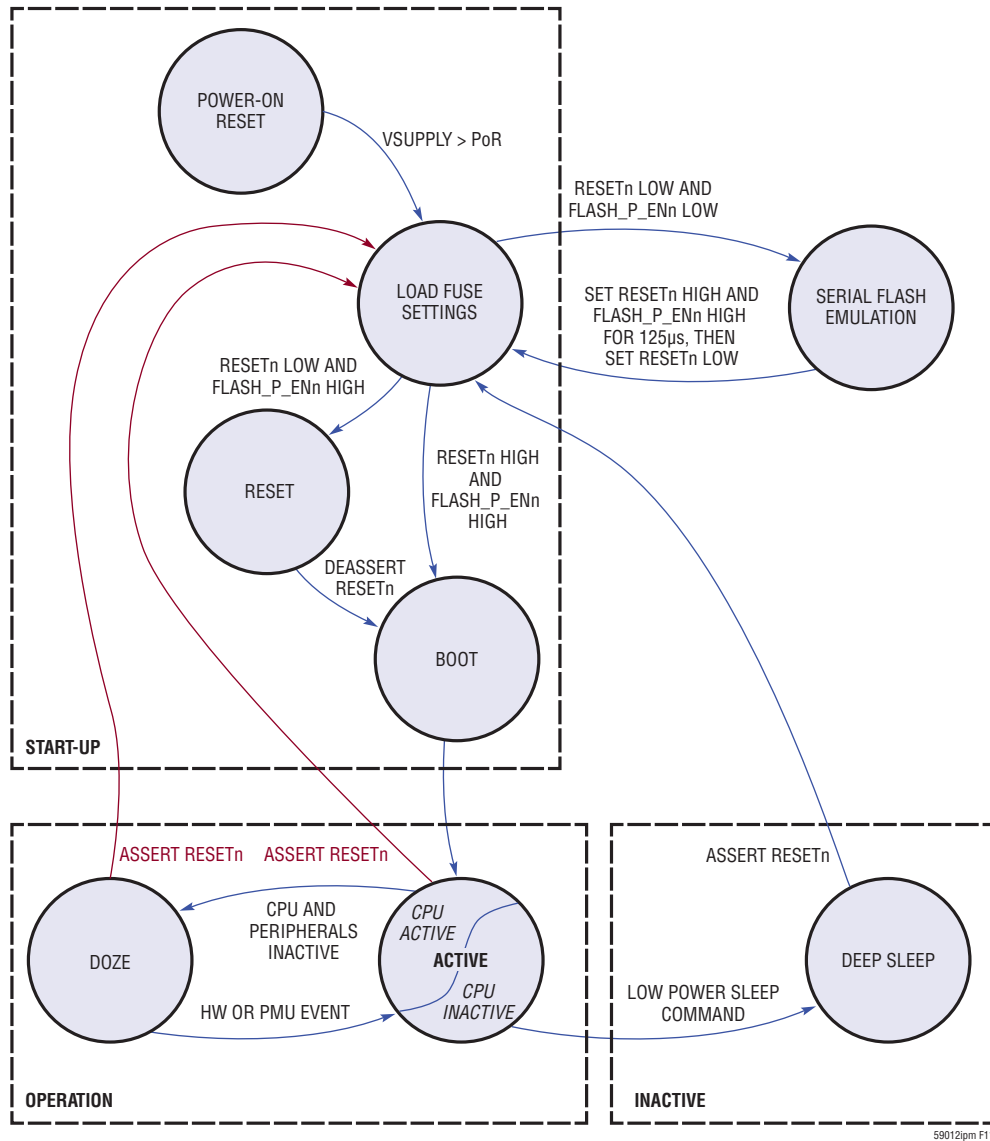


図 11. Eterna の状態図

59012ipm F11

動作

起動

起動はパワーオン・リセットしきい値を超えた結果またはRESETnをアサートした結果として行われます。パワーオン・リセットの完了後または内部で同期したRESETnの立ち下がりエッジ後に、Eternaはそのヒューズ・テーブルを読み込みます。前のセクションで説明したように、ヒューズ・テーブルにはI/O方向の設定情報が組み込まれています。この状態で、EternaはFLASH_P_ENnとRESETnの状態を調べ、信号が両方ともアサートされている場合、シリアル・フラッシュ・エミュレーション・モードに入ります。FLASH_P_ENnピンはアサートされていないがRESETnピンはアサートされた場合、EternaはRESETnが解放されるまで、そのエネルギー消費量を自動的に最小限に抑えます。RESETnがデアサートされると、Eternaは起動シーケンスを経てアクティブ状態に移行します。

シリアル・フラッシュのエミュレーション

RESETnとFLASH_P_ENnが両方ともアサートされると、Eternaは通常動作をディスエーブルして、シリアル・フラッシュの動作をエミュレートするモードに入ります。このモードでは、そのフラッシュをプログラムできます。

動作

Eternaは、起動が完了すると動作状態群(アクティブ/CPUアクティブ、アクティブ/CPU非アクティブ、およびドーズ)に移行します。そこで、Eternaはさまざまな状態間を循環し、起こり得る最も低い消費電力の状態を自動的に選択すると同時に、ネットワーク動作の要求を実現します。

アクティブ状態

アクティブ状態では、Eternaの弛張発振器が動作しており、必要に応じて周辺機器がイネーブルされます。ARM Cortex-M3はCPUアクティブ状態とCPU非アクティブ状態との間を循環します(ARM Cortex-M3の技術資料では、スリープ・ナウ・モードと呼ばれています)。EternaがDMAを大量に使用することと、アクティブ状態とドーズ状態との間でEternaの状態を独自に移すインテリジェント周辺機器により、CPUがアクティブな時間が最小限に抑えられるので、Eternaのエネルギー消費量は大幅に減少します。

ドーズ状態

ドーズ状態での消費電流はアクティブ状態より数桁少なく、ドーズ状態になるのは、すべての周辺機器とCPUが非アクティブ状態になったときです。ドーズ状態では、Eternaの全状態が保持され、タイミングが維持され、さらに(UART信号やTIMEnピンなど)I/Oでの動作を検出してEternaを起動し、迅速に応答するようEternaが構成されます。ドーズ状態では、32.768kHzの発振器と関連のタイマがアクティブ状態です。

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

アプリケーション情報

信号/データの取得と制御

SmartMesh IPソフトウェアには、温度、EternaのADC入力およびGPIO入力をサンプリングするための組み込みアプリケーション・サポートと、GPIO出力を操作するためのサポートが含まれます。これらの機能は、オンチップ・アプリケーション・プロトコル(OAP)により、ネットワーク・マネージャを介して無線送信されたデータ・パケットを介して有効化できます。そのため、モートにマイクロプロセッサを接続したり、Eterna上での組み込みソフトウェアを開発する必要はありません。オンチップ・アプリケーション・プロトコル(OAP)の詳細については、『[SmartMesh IP Tools Guide](#)』を参照してください。

法規制と標準規格の順守

無線認証

LTP5901とLTP5902は、ETERNA2というモジュール名にて、1つのモジュール型認証の下で認証されています。『[ETERNA2 User's Guide](#)』に記載されている規制要件に従うと、完成品に対して非意図的放射機器スキャンを実施するだけで、お客様はサポート対象の地域で製品を出荷可能です。『[ETERNA2 User's Guide](#)』には、モジュール型認証をサポートを(まだ)していない地域において、お客様がモジュールまたはモジュールに基づく製品のいずれかを認証するために必要な技術情報も記載されています。

有害物質の制限(RoHS)の順守

RoHS 2(有害物質に関する制限2)は、電子・電気機器における特定の有害物質の使用に対する最高濃度制限を定義する指令です。リニアテクノロジーは、欧州共同体(EC)指令2011/65/EUの要件に適合するよう取り組んでいます。

本製品は、RoHSに準拠した原料を使用することと、規制物質の使用を排除または削減して2011/65/EUに適合することを目的として設計されています。

RoHSに準拠した設計の特長は以下のとおりです。

- RoHSに準拠した半田による半田接合
- RoHSに準拠した卑金属合金
- RoHSに準拠した貴金属めっき
- RoHSに準拠したケーブル・アセンブリおよびコネクタ選択
- RoHSに準拠し、245°Cのリフロー互換

注記：お客様は、欧州共同体(EC)指令2011/65/EUに従って、特定の種類の無鉛半田合金を選んで使用することができます。選択した半田ペーストの種類によっては、リフロー温度を最適化するために、それに対応する工程変更が必要になる可能性があります。

半田付け情報

LTP5901とLTP5902は共晶PbSnリフローとRoHS-6リフローの両方に適しています。最大リフロー半田付け温度は260°Cです。レイアウトの推奨事項、組み立て手順、および設計上の検討事項の詳細については、『[LTP5901 and LTP5902 Hardware Integration Guide](#)』に記載されています。

関連資料

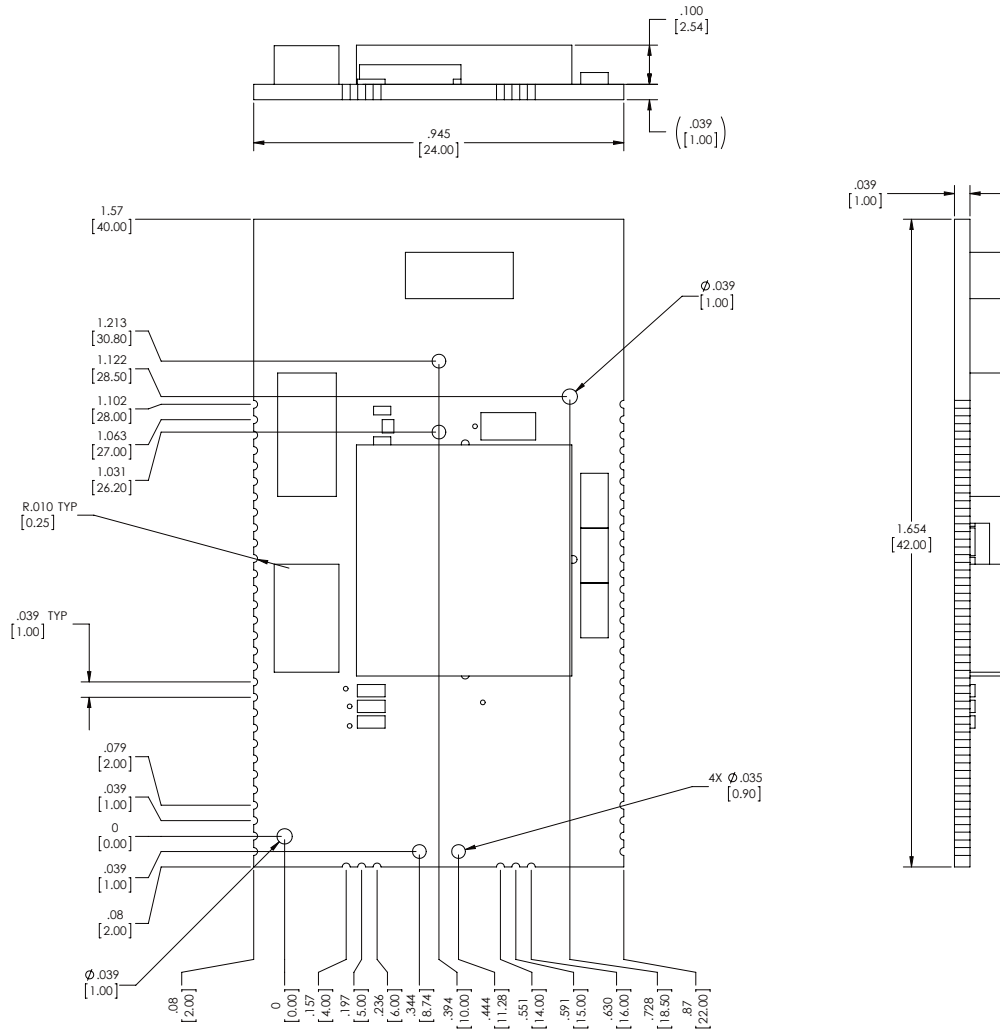
資料名	URL	概要
SmartMesh IP Users Guide	http://www.linear-tech.co.jp/docs/41880	SmartMesh IP ネットワークおよびモートの動作原理
SmartMesh IP Mote API Guide	http://www.linear-tech.co.jp/docs/41886	API UART で使用できるアプリケーション・インタフェース・コマンドの定義
SmartMesh IP Mote CLI Guide	http://www.linear-tech.co.jp/docs/41885	CLI UART で使用できるコマンドライン・インタフェース・コマンドの定義
LTP5901 and LTP5902 Hardware Integration Guide	http://www.linear-tech.co.jp/docs/41877	LTP5901 および LTP5902 を使用して設計するための推奨の手法
ETERNA2 User's Guide	http://www.linear-tech.co.jp/docs/42916	ETERNA2 モジュールのユーザー・ガイドには、認証済み地域に適用される認証要件と、LTP5901 および LTP5902 についてお客様がその他の地域の認証を可能にするサポート文書が含まれています。
SmartMesh IP Tools Guide	http://www.linear-tech.co.jp/docs/42453	すべての IP 関連のツール、および特にオンチップ・アプリケーション・プロトコル (OAP) の定義に関するユーザー・ガイド

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

パッケージ

最新のパッケージ図面については、<http://www.linear-tech.co.jp/designtools/packaging/>を参照してください。

PC Package
66-Lead PCB (24mm × 42mm)
(Reference LTC DWG # 05-08-10002 Rev A)

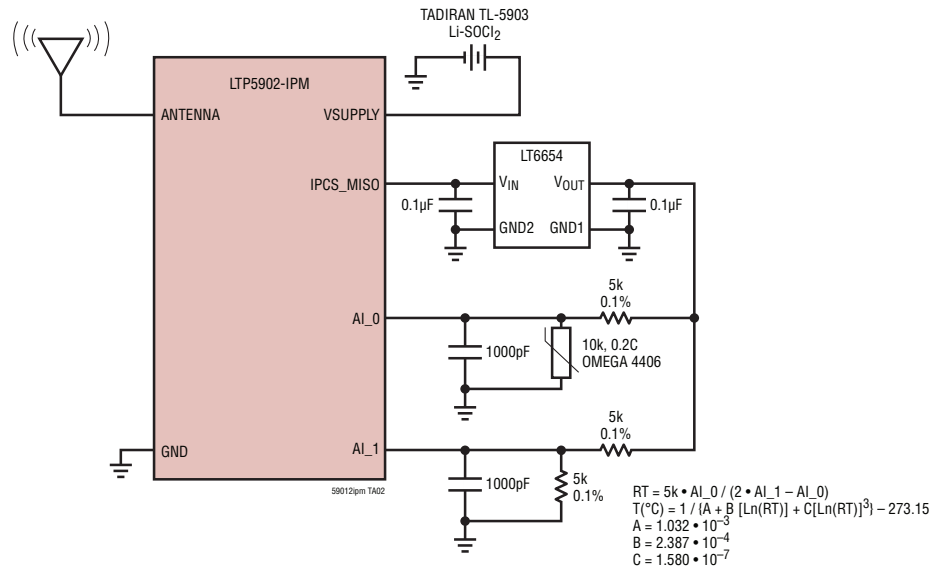


LTP5901の機械図面

LTP5901-IPM/LTP5902-IPM

標準的応用例

メッシュ・ネットワーク・サーミスタ



関連製品

製品番号	説明	注釈
LTC5800-IPM	IPワイヤレス・モート	超低消費電力モート、72ピン10mm×10mm QFN
LTP5901-IPRA	チップ・アンテナを備えたIPワイヤレス・メッシュ32モート・マネージャPCBモジュール	米国、カナダ、欧州、日本、韓国、台湾、インド、オーストラリア、およびニュージーランドでの無線認証モジュール内蔵
LTP5902-IPRA	MMCXアンテナ・コネクタを備えたIPワイヤレス・メッシュ32モート・マネージャPCBモジュール	米国、カナダ、欧州、日本、韓国、台湾、インド、オーストラリア、およびニュージーランドでの無線認証モジュール内蔵
LTP5901-IPRB	チップ・アンテナを備えたIPワイヤレス・メッシュ100モート・マネージャPCBモジュール	米国、カナダ、欧州、日本、韓国、台湾、インド、オーストラリア、およびニュージーランドでの無線認証モジュール内蔵
LTP5902-IPRB	MMCXアンテナ・コネクタを備えたIPワイヤレス・メッシュ100モート・マネージャPCBモジュール	米国、カナダ、欧州、日本、韓国、台湾、インド、オーストラリア、およびニュージーランドでの無線認証モジュール内蔵
LTP5901-IPRC	チップ・アンテナ、最大36パケット/秒外部RAMサポートを備えたIPワイヤレス・メッシュ32モート・マネージャPCBモジュール	米国、カナダ、欧州、日本、韓国、台湾、インド、オーストラリア、およびニュージーランドでの無線認証モジュール内蔵
LTP5902-IPRC	MMCXアンテナ・コネクタ、最大36パケット/秒外部RAMサポートを備えたIPワイヤレス・メッシュ32モート・マネージャPCBモジュール	米国、カナダ、欧州、日本、韓国、台湾、インド、オーストラリア、およびニュージーランドでの無線認証モジュール内蔵
LT6654	出力駆動電流の大きい低ノイズ高精度リファレンス	ピーク・トゥ・ピーク・ノイズ: 1.6ppm (0.1Hz ~ 10Hz)、シンク/ソース電流: ±10mA、最大ドリフト: 5ppm/°C
LTC2379-18	18ビット、1.6Msps/1Msps/500ksps/250kspsシリアル、低消費電力ADC	電源電圧: 2.5V、差動入力、SNR: 101.2dB、入力範囲: ±5V、DGC
LTC3388-1/ LTC3388-3	20V 高効率ナノパワー降圧レギュレータ	スリープ時のI _Q : 860nA、入力: 2.7V ~ 20V、V _{OUT} : 1.2V ~ 5V、イネーブル・ピンとスタンバイ・ピン
LTC3588-1	高効率降圧コンバータ内蔵の圧電発電電源	V _{IN} : 2.7V ~ 20V、V _{OUT(MIN)} : 1.8V/2.5V/3.3V/3.6Vに固定、I _Q : 0.95µA、3mm×3mm DFN-10およびMSOP-10Eパッケージ
LTC3108-1	超低電圧昇圧コンバータおよびパワーマネージャ	V _{IN} : 0.02V ~ 1V、V _{OUT} : 2.5V/3V/3.7V/4.5Vに固定、I _Q : 6µA、3mm×4mm DFN-12およびSSOP-16パッケージ
LTC3459	マイクロパワー同期整流式昇圧コンバータ	V _{IN} : 1.5V ~ 5.5V、V _{OUT(MAX)} : 10V、I _Q : 10µA、2mm×2mm DFN、2mm×3mm DFNまたはSOT-23パッケージ

59012ipmf