

第7回LSI IP デザイン・アワード
組込みシステム用 IP バージョン 6 対応
TCP/IP プロトコルスタック: TINET-1.2

苫小牧工業高等専門学校
情報工学科

阿部 司 吉村 齋 稲川 清



組み込みシステムの特徴

- 専用化されたシステム
- 低コスト
- 厳しいリソース制約
 - メモリ容量、重量、サイズ、消費電力
- 高信頼性
- リアルタイム性

汎用計算機用 TCP/IP プロトコルスタックの利点

- BSD の TCP/IP プロトコルスタック
 - 長年の開発成果が凝縮されている。
 - 枯れてバグが極めて少ない。
 - 他システムの見本。
- KAME の IPv6 ソフトウェア
 - フィールドで十分に検証されている。
- 組み込みシステムの TCP/IP プロトコルスタックのベースとしても最適

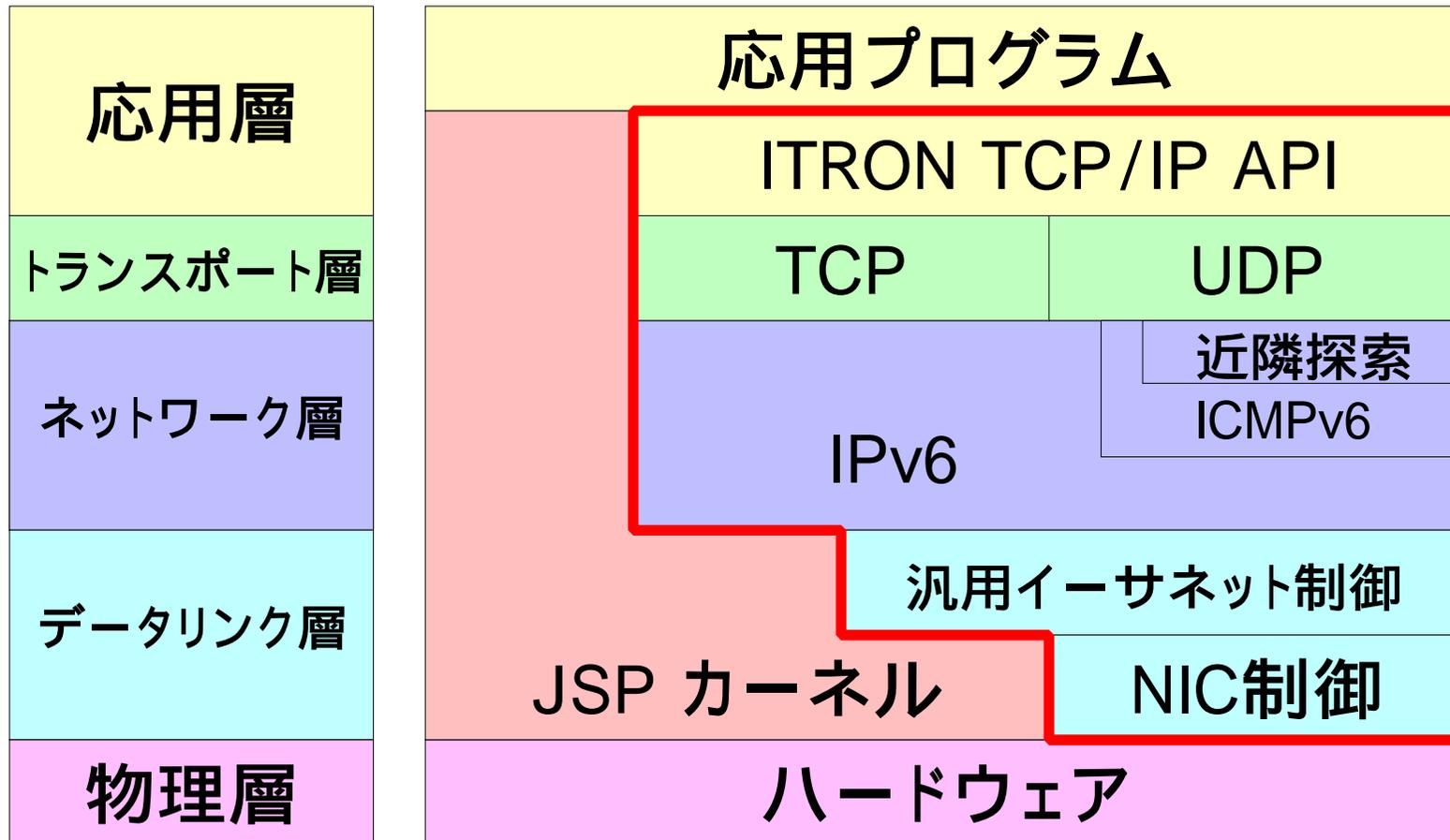
汎用計算機用 TCP/IP プロトコルスタックの問題

- 統一的で高度の抽象化
 - 階層の仮想化
 - TCP/IP のみなら無駄が多い
- 動的割り当て構造体とリスト構造の多用
 - 動的割り当て
 - メモリが多く必要
 - リアルタイム性への影響

TINET が提供する機能

- TINET-1.1
 - 幅広い応用層に対応
 - TCP のオプションは MSS のみ
 - IP のオプションは分割・再構成機能のみ
 - ルータではないホスト
 - ネットワークの終端ノード
 - 単一のネットワークインタフェース
- TINET-1.2
 - IPv4 と IPv6 に対応

ネットワーク階層図 (IPv6)



実装部分

IPv6 最小要求の概要

- TAHI プロジェクト
- 非 PC 系デジタル機器への適用に向けた IPv6 最小要求仕様の検討
- IPv6 最小ホスト仕様と最小セキュリティ仕様
 - TINETは IPv6 最小ホスト仕様へのみ対応
- IPv6 最小ホストの定義
 - ルータでないホスト
 - 拡張ヘッダの付きデータグラムを送信しない
 - ネットワークインタフェースを一つだけ持つ

対応するリアルタイム OS

■ 対応するリアルタイム OS

- TOPPERS プロジェクト JSP カーネル
 - μ ITRON 4.0 仕様、スタンダードプロファイル

■ TINET の移植性

- μ ITRON 4.0 仕様、スタンダードプロファイルであれば容易
- カーネルオブジェクトも一般的で、 μ ITRON 仕様以外のリアルタイム OS でも困難ではない

TOPPERSプロジェクト

- Toyohashi Open Platform for Embedded and Real Time Systems
- ITRON仕様のRTOSの決定版
 - オープンソース
 - JSP (Just Standard Profile) カーネル
- 問題点の解決
 - 過剰な重複投資、過剰な多様性
- 次世代RTOS技術の開発
- 組み込みシステム技術者の育成

ITRON TCP/IP API 仕様

- 組み込みシステムのリソース制約に対応
 - 最小限メモリ領域の使用
- プロトコル別の API
 - ベースはソケットインタフェース
- コンパクトで無駄のない接続制御構造体
 - TCP 受付口、TCP 通信端点、UDP 通信端点
- 省コピー API (TCP のみ)
- タイムアウトとノンブロッキングコール
- コールバック関数

暫定 ITRON TCP/IP API (IPv6) 仕様

- IPv6 用 API を定義し実装
 - 接続制御構造体
 - C言語 API
- IPv4 と IPv6 の選択マクロ
 - TINET-1.2 は、どちらかをコンパイル時に選択
 - 単一ソースコードで、両方に対応
 - デュアルスタック方式も考慮

対象とする組み込みシステムの規模

- μ ITRON 4.0 スタンダードプロファイル
- C言語のintとプロセッサのレジスタは32ビット
- 高度なメモリ管理機能と二次記憶装置なし
- ネットワーク末端の終端ノード
- 単一のネットワークインタフェース
- メモリ容量
 - RAM は 32Kバイト
 - ROM は 128Kバイト

実装ターゲット

- 秋月電子通商製H8/3048F ボード
 - 内蔵 RAM: 4Kバイト(外部増設: 128Kバイト)
 - 内蔵 ROM: 128Kバイト
 - 内部ループバック
 - シリアルインタフェースを利用した PPP
- 秋月電子通商製H8/3069F LAN ボード
 - 内蔵 RAM: 16Kバイト(外部増設: 2Mバイト)
 - 内蔵 ROM: 512Kバイト
 - イーサネット: NE2000 互換 NIC

TCP/IP (IPv6) プロトコルスタックの実装

- **実装のベース**
 - TINET 1.1 (FreeBSD 3.4)
 - FreeBSD 対応 KAME IPv6 ソフトウェア
- **IPv6 最小ホスト仕様に対応**
- **組み込みシステムのリソース制約に対応**
- **暫定 ITRON TCP/IP API (バージョン6) 仕様の規定と、それに沿った実装**

IPv6 基本仕様の実装

- 拡張ヘッダ付き IP データグラムを送信しない。
- 受信に関して
 - 未サポート拡張ヘッダの処理を行う。
 - 未知オプションは種類フィールドにより処理する。
- 識別し処理する拡張ヘッダ
 - 中継点オプションヘッダ
 - 終点オプションヘッダ
- 上記以外の拡張ヘッダは処理しない。

IPv6 近隣探索とアドレス自動設定の実装

- **実装すべき機能**
 - 近隣探索要請メッセージの送受信
 - 近隣探索通知メッセージの送受信
 - ルータ要請メッセージの送信
 - ルータ通知メッセージの受信
 - リンクローカルアドレスの自動設定
 - アドレス重複検出
- **省略可能な機能**
 - ルータ要請メッセージの受信
 - ルータ通知メッセージの送信

アドレス自動設定と近隣キャッシュ

[ND6 DAD TIMER] no dup IPv6 addr:
fe80::202:cbff:fe01:6395.

[ND6 RTR] update prefix: fec0::ff81:0:0:0:0
from fe80::2a0:b0ff:fe1b:cfb1.

[ND6 DAD TIMER] no dup IPv6 addr:
fec0::ff81:202:cbff:fe01:6395.

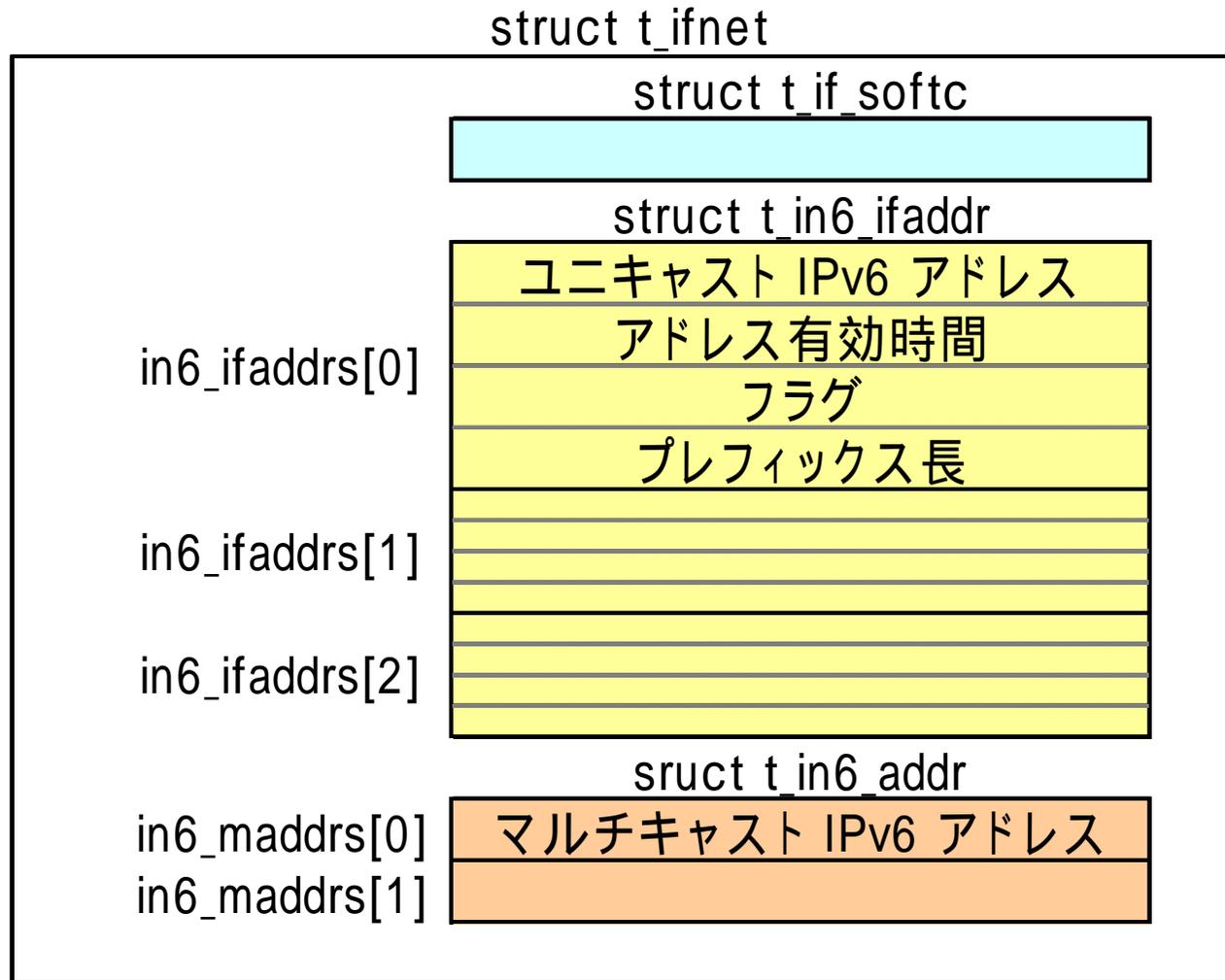
ND Cache Status

IX	Expire	State	IP Address
7	67	REACHABLE	fe80::203:47ff:febb:6cb7
8	67	REACHABLE	fe80::20e:a6ff:fe34:d5f2
9	72	REACHABLE	fe80::2a0:b0ff:fe1b:cfb1

メモリ容量の制約への対応

- RAM 必要量の抑制
 - ROM に割当てられるプログラムにより処理
- 構造体の静的割当て
- IPv6 アドレスの制限
 - リンクローカル、サイトローカル、グローバル
- デフォルトルータの制限

TINET のネットワーク IF のアドレス管理



メモリ必要量の比較 (IPv4 - IPv6)

機能	RAM		ROM		計		
	IPv4	IPv6	IPv4	IPv6	IPv4	IPv6	増減率
TCP	2,100	2,160	28,548	29,784	30,648	31,944	4.2%
UDP	1,176	1,200	4,706	4,798	5,882	5,998	2.0%
近隣探索		554		11,690		12,244	
ICMP	0		1,266	1,822	1,266	1,822	43.9%
IP	0		946	3,232	946	3,232	241.6%
TCP/IP共通	60	48	2,168	4,604	2,228	4,652	108.8%
汎用通信機能	1,156	1,156	2,614	2,812	3,770	3,968	5.3%
バッファ管理	3,524	3,524	268	268	3,792	3,792	0.0%
通信機能計	8,016	8,642	40,516	59,010	48,532	67,652	39.4%
増減率		7.8%		45.6%		39.4%	
ARP	178		2,494		2,672		
イーサネット	2,138	2,294	3,490	3,994	5,628	6,288	11.7%
応用プログラム	6,792	6,898	13,436	13,762	20,228	20,660	2.1%
カーネル	5,398	5,420	31,520	31,544	36,918	36,964	0.1%
合計	22,522	23,254	91,456	108,310	113,978	131,564	15.4%
増減率		3.3%		18.4%		15.4%	

RAM のメモリ必要量 (IPv6)

機能	固定部分	変動部分	計
TCP	32	2,128	2,160
UDP	0	1,200	1,200
近隣探索	138	416	554
ICMP	0	0	0
IP	0	0	0
TCP/IP共通	48	0	48
汎用通信機能	132	1,024	1,156
バッファ管理	20	3,504	3,524
通信機能計	370	8,272	8,642
イーサネット	230	2,064	2,294
合計	600	10,336	10,936

RAM のメモリ必要量変動分 (IPv6)

- 接続制御構造体
 - TCP 受付口、TCP 通信端点、UDP 通信端点
- TCP ウィンドバッファ
- スタック
 - TCP 出力タスク、UDP 出力タスク
 - ネットワークタイマ
 - イーサネット入力タスク、出力タスク
- データキュー (UDP、イーサネット)
- 近隣探索キャッシュ
- バッファ管理 (ネットワークバッファ)

TINET-1.2 の実行性能

システム	メディア	ネットワーク層	時間計
TINET-1.2	10Base-T	IPv4	3.751
		IPv6	4.094
FreeBSD	100Base-TX	IPv4	1.961

今後の課題

- RAM のメモリ必要量の削減
 - 目標はH8/3069F の内蔵 RAM メモリの 16Kバイト
- 全体のメモリ必要量の削減
- TCP 通信端点の改良 (TINET-1.3)
 - 送受信ウィンドバッファのゼロコピー化
 - 接続終了時のタスクからの切り離し
- IPv6 関連
 - 断片ヘッダ
 - PPP (IPCPv6)
 - IPv6 セキュリティ仕様、Mobile IPv6 仕様

TINETの配布状況

- TOPPERS ライセンス (BSD ライセンス制約あり)
- 配布開始は、2003 年 7 月
- ダウンロード数は、2005/5/16 現在で、約 3,800 件
- 最新リリースは、1.2.1
- 配布場所
 - 宮城県産業技術総合センター様
 - <http://www.mit.pref.miyagi.jp/embedded/consortium/>
 - TOPPERSプロジェクト
 - <http://www.toppers.jp/>

謝 辞

- 経済産業省東北経済産業局様 (委託先管理法人: (財)みやぎ産業振興機構様)
 - テーマ「組み込みシステム・オープンプラットフォームの構築とその実用化開発」