

第6回LSI IP デザイン・アワード
オープンソースの組み込みシステム用
TCP/IP プロトコルスタック: TINET

苫小牧工業高等専門学校
情報工学科

阿部 司 吉村 斎 稲川 清

TINET の特徴

- ベースは FreeBSD
 - 枯れたソフトウェアで、他システムの手本
 - BSD ライセンスによる配布
 - 人的リソース制約
- 組み込みシステムのリソース制約に対応
- 対応 RTOS は TOPPERS/JSP カーネル
- API は ITRON TCP/IP API 仕様

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

TOPPERSプロジェクト

- **経緯**
 - 2000年11月 JSPカーネルの最初のリリース公開
 - 2001年5月 第3回LSI IPアワードIP優秀賞受賞
 - 2003年9月 NPO法人設立
- **会員数** 109 (2004/4/23 現在)
- **会長**
 - 名古屋大学教授 高田広章 (元豊橋技術科学大学)
- **URL**
 - <http://www.toppers.jp/>

TOPPERS/JSPカーネル

- JSP カーネルの現在のリリースは 1.4
- μ ITRON 4.0 スタンダードプロファイル準拠
- 多様な CPU に対応
 - MC68040、SH1/3/4、H8/H8s、ARM7TDMI、V850、M32R、MicroBlaze、TMS320C54x、i386、MIPS、Nios、PowerPC、M16C

ITRON TCP/IP API 仕様

- 1998年、ITRON 専門委員会により ITRON 仕様に認定
- 組み込みシステムの制約
 - 厳しいハードウェア制約
 - リアルタイム性
 - 高信頼性

ITRON TCP/IP API 仕様

- プロトコルスタックに求められる性質
 - 最小限メモリ領域の使用
 - データのコピー回数の低減
 - 動的なメモリ管理の回避
 - 非同期インタフェース
 - ノンブロッキングコール
 - API 毎のエラーの詳細

TCP のAPI

API 名	機 能	NBLK*		省コピー
		送信系	受信系	
TCP_CRE_REP	TCP受付口の生成			
TCP_CRE_CEP	TCP通信端点の生成			
tcp_acp_cep	接続要求待ち			
tcp_con_cep	接続要求			
tcp_sht_cep	データ通信終了			
tcp_cls_cep	通信端点のクローズ			
tcp_snd_dat	データの送信			
tcp_rcv_dat	データの受信			
tcp_get_buf	送信用バッファの取得			
tcp_snd_buf	バッファ内データの送信			
tcp_rcv_buf	受信バッファの取得			
tcp_rel_buf	受信用バッファの解放			
tcp_can_cep	処理のキャンセル			

NBLK* : ノンブロッキングコール

UDP のAPI

API 名	機 能	NBLK	
		送信系	受信系
UDP_CRE_CEP	UDP通信端点の生成		
udp_snd_dat	パケットの送信		
udp_rcv_dat	パケットの受信		
udp_can_cep	処理のキャンセル		
UDPパケットの受信	UDPパケットの受信		

実装上特に考慮した事項

- 組み込みシステムのリソース制約 (TINET のみ)
 - RAM メモリの必要量: 約10Kバイト
 - ROM メモリの必要量: 約50Kバイト
- ITRON TCP/IP API 仕様
 - 最小のコピー回数
 - 動的メモリ管理の排除
- 実時間性の制約

対象の組み込みシステムの規模

- ROM容量 128Kバイト
- RAM容量 32 K バイト
- レジスタとALU 32 ビット
- ワンチップ CPU + 外部メモリ
- メモリ管理ユニットなし

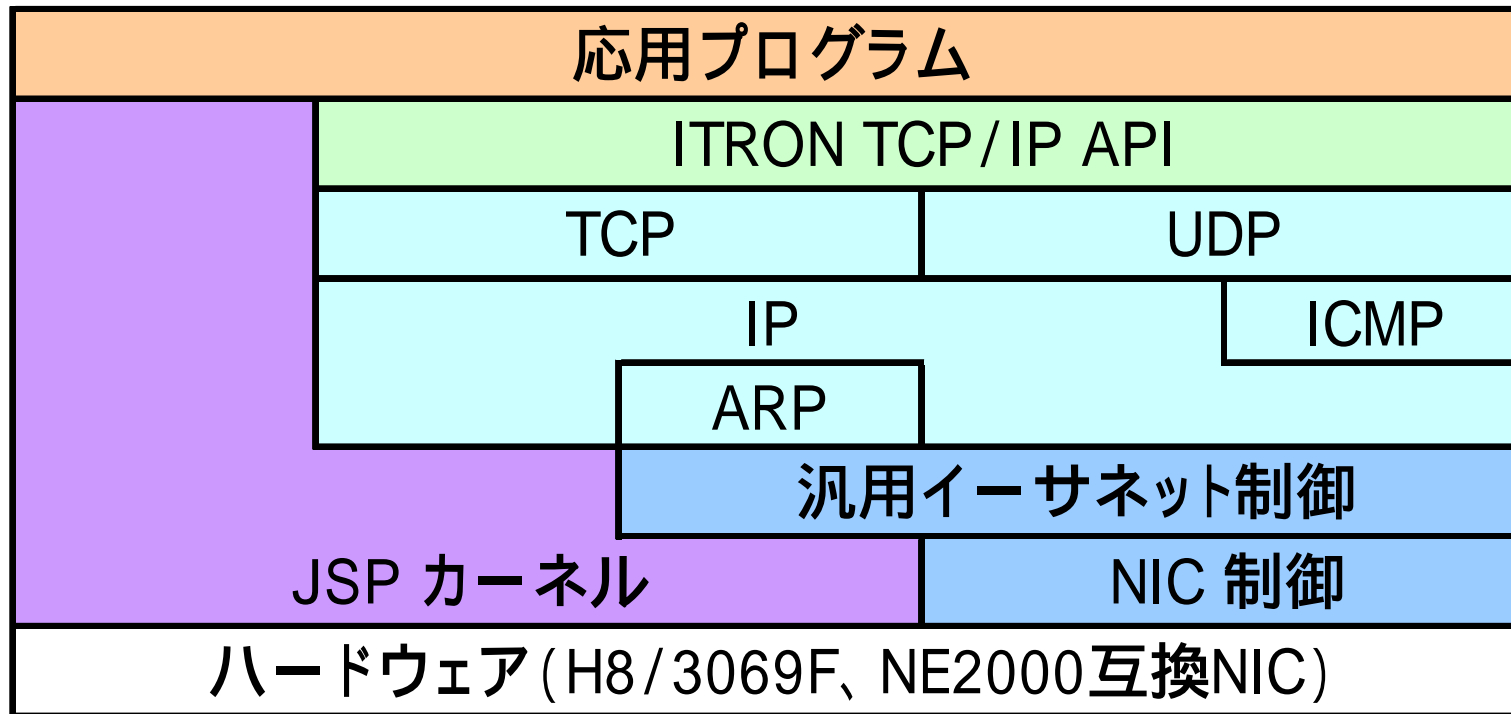
TINET が提供する機能

- 幅広い応用層に対応
- TCP のオプションは MSS のみ
- IP のオプションと分割機能なし
- 単一リンクの終端ノード
- 単一のネットワークインタフェース

実装ターゲット

- 秋月電子通商製 H8/3069F LAN ボード
 - 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
 - NE2000 互換 NIC
- 北斗電子製 HSB7727ST (SH3)
 - SMCS製 LAN91C111 NIC
- XILINX製 MicroBlaze
 - ワイ・デー・ケー製 MAC_YG0130 NIC

TINET の階層



ITRON TCP/IP API の実装

- 基本機能
- ノンブロッキングコール
- 省コピー API
- コールバック関数
- 静的API
 - TCP/UDP 通信端点の生成
 - TCP 受付口の生成

TCP の機能

- BSD 制御アルゴリズム
 - BSD TCP 状態遷移 (内部)
 - MSS オプション
 - 遅延確認応答
 - 再送制御
 - 輻輳回避
 - 高速再転送と高速リカバリ
- 省コピー API
- ノンブロッキングコール

ネットワークバッファ (net_buf)



- 固定長のメモリブロック
 - 下位層のヘッダ領域をあらかじめ確保。
 - 途中での動的なメモリ操作は行わない。
 - ヘッダ長は 4 オクテット、1,514 オクテットのイーサネットフレームでオーバヘッドは 0.4%。

TINET のメモリ必要量

機 能	RAM	ROM	合 計
TCP	1,328	28,652	29,980
UDP	1,104	4,746	5,850
ICMP	20	1,404	1,424
IP	0	736	736
ARP	160	2,314	2,474
TCP/IP共通機能	0	1,572	1,572
汎用通信機能	1,184	2,288	3,472
イーサネット	2,140	3,408	5,548
net_buf 管理	3,524	256	3,780
小 計	9,460	45,376	54,836
応用プログラム	13,404	4,614	18,018
JSP カーネル	4,364	30,276	34,640
合 計	27,228	80,266	107,494

TINET のメモリ必要量の固定分

機 能	RAM	ROM	合 計
TCP	32	28,652	28,684
UDP	16	4,746	4,762
ICMP	20	1,404	1,424
IP	0	736	736
ARP	0	2,314	2,314
TCP/IP共通機能	0	1,572	1,572
汎用通信機能	160	2,288	2,448
小 計	228	41,712	41,940
イーサネット	92	3,408	3,500
net_buf 管理	20	256	276
合 計	340	45,376	45,716

(スタック、静的API、ARPキャッシュ、net_buff を除く)

FreeBSD のメモリ必要量の固定分

機 能	RAM	ROM	合 計
TCP	3,492	39,986	43,478
UDP	536	5,196	5,732
ICMP	648	4,914	5,562
IP	3,804	28,944	32,748
ARP	488	6,780	7,268
TCP/IP共通機能	1,528	14,354	15,882
汎用通信機能	1,368	37,498	38,866
合 計	11,864	137,672	149,536

TCP 制御用構造体

TINET の TCP 制御用構造体

構造体	サイズ
TCP 受付口	12
TCP 通信端点	130
合計	142

FreeBSD の TCP 制御用構造体

構造体	サイズ
ファイル記述子	28
ソケット	160
TCP 制御ブロック	188
プロトコル制御ブロック	96
合計	472

応用プログラム実装例

- ネットワークインタフェース
 - イーサネット
 - PPP (直接接続とダイアルアップ)
- HTTPバージョン1.0
 - 要求・応答毎に接続と切断
- 2 ページ表示可能
 - トップページ
 - ネットワーク統計情報

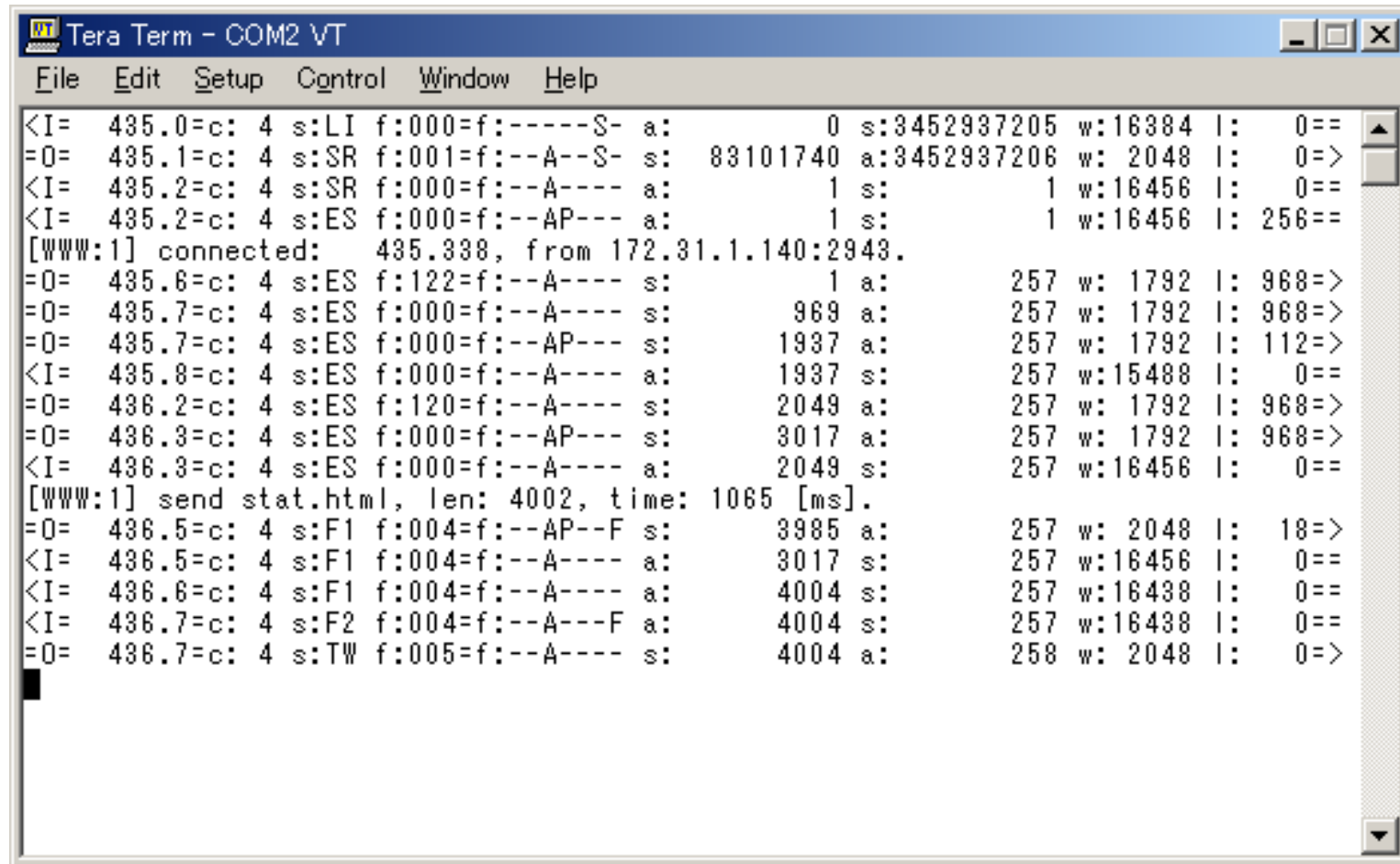
WWW サーバ表示例



The screenshot shows a Mozilla browser window titled "ネットワーク統計情報 - Mozilla". The address bar contains "http://172.31.1.97/stat.html". The main content area has a yellow background and displays the title "ネットワーク統計情報". Below the title, it shows "経過時間: 173:23:16" and "グループ 1". A table with 7 columns and 6 rows follows, showing network statistics for various protocols.

項目	受信オクテット数	送信オクテット数	受信パケット数	送信パケット数	受信エラーパケット数	送信エラーパケット数
Ethernet	674808588	328330202	14030830	10889406	117559	980
ARP	38996144	28	812418	1	0	0
IP	414430660	176008056	12990432	10889352	0	490
ICMP	0	0	0	0	0	0
UDP	0	0	0	0	0	0

コンソール画面「TCP状態遷移」



```
Tera Term - COM2 VT
File Edit Setup Control Window Help
<I= 435.0=c: 4 s:LI f:000=f:-----S- a: 0 s:3452937205 w:16384 l: 0=
=O= 435.1=c: 4 s:SR f:001=f:--A--S- s: 83101740 a:3452937206 w: 2048 l: 0=>
<I= 435.2=c: 4 s:SR f:000=f:--A---- a: 1 s: 1 w:16456 l: 0==
<I= 435.2=c: 4 s:ES f:000=f:--AP--- a: 1 s: 1 w:16456 l: 256==
[WWW:1] connected: 435.338, from 172.31.1.140:2943.
=O= 435.6=c: 4 s:ES f:122=f:--A---- s: 1 a: 257 w: 1792 l: 968=>
=O= 435.7=c: 4 s:ES f:000=f:--A---- s: 969 a: 257 w: 1792 l: 968=>
=O= 435.7=c: 4 s:ES f:000=f:--AP--- s: 1937 a: 257 w: 1792 l: 112=>
<I= 435.8=c: 4 s:ES f:000=f:--A---- a: 1937 s: 257 w:15488 l: 0==
=O= 436.2=c: 4 s:ES f:120=f:--A---- s: 2049 a: 257 w: 1792 l: 968=>
=O= 436.3=c: 4 s:ES f:000=f:--AP--- s: 3017 a: 257 w: 1792 l: 968=>
<I= 436.3=c: 4 s:ES f:000=f:--A---- a: 2049 s: 257 w:16456 l: 0==
[WWW:1] send stat.html, len: 4002, time: 1065 [ms].
=O= 436.5=c: 4 s:F1 f:004=f:--AP--F s: 3985 a: 257 w: 2048 l: 18=>
<I= 436.5=c: 4 s:F1 f:004=f:--A---- a: 3017 s: 257 w:16456 l: 0==
<I= 436.6=c: 4 s:F1 f:004=f:--A---- a: 4004 s: 257 w:16438 l: 0==
<I= 436.7=c: 4 s:F2 f:004=f:--A---F a: 4004 s: 257 w:16438 l: 0==
=O= 436.7=c: 4 s:TW f:005=f:--A---- s: 4004 a: 258 w: 2048 l: 0=>
```


配布状況

- 最新リリースは、1.1.1 で、4/21 から配布
- 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/>
 - ダウンロード数は、2月末までに832件
 - TOPPERSプロジェクト
 - <http://www.toppers.jp/>

今後の課題

- IPv6 への対応
 - IPv6 最小要求仕様 (TAHI プロジェクト)
 - 厳しいリソース制約への対応
 - 全体のメモリ必要量の増加: 約 18%
 - RAM のメモリ必要量の増加: 約 3%
 - TINET リリース 1.2 で対応予定
- 多様なネットワークインタフェースへの対応
 - Bluetooth や無線 LAN

謝 辞

- (財)道央産業技術振興機構様
 - テーマ「組込み型制御システム用TCP/IPプロトコルスタックの開発」
- (株)NTTドコモ北海道苫小牧支店様
- 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」