

ノート PC を利用した DVTS システムの構築

杉浦 一徳[†] 櫻田 武嗣[†] 小川 晃通[‡] 中村 修[‡] 中川 晋一[†] 村井 純[‡]

独立行政法人通信総合研究所[†] 慶應義塾大学 政策メディア研究科[‡]

本論文ではネットワークを配送手段として利用した高品質リアルタイム映像コミュニケーションツールである DVTS(Digital Video Transport System) を小型、可搬性の高いノート PC で利用するシステムの開発について論ずる。従来の DVTS では、ノート PC の可搬性確保のために限定された資源、特にプロセッサ、ネットワークインターフェースの処理能力の限界によって、高品質な映像・音声の転送が不可能であった。また、バッテリーによる運用、プロセッサ、周辺インターフェース・バスの節電機能を有効に利用できないため、非効率である。本研究では、ノート PC の特徴を応用した DVTS の改良、オペレーティングシステムの改良を行い、可搬可能で高品質な映像転送会議システムを可能とした。

DVTS Using Portable Notebook Computers

Kazunori Sugiura[†] Takeshi Sakurada[†] Akimichi Ogawa[‡] Osamu Nakamura[‡]
Shin'ichi Nakagawa[†] Jun Murai[‡]

[†]Communication Research Laboratory, [‡]Keio University

This Paper proposes a development of DVTS(Digital Video Transport System): real time high video/audio quality communication tool focused on a high speed network using portable and mobile notebook computers. Notebook computers has limited availability on processor and network interface speed due to its compact mobility aware system construction. Furthermore adaptive usage of power management features available on some interfaces are not implemented to DVTS and mother Operating System. This research implements a characteristics of the unique notebook computer features to DVTS and its Operating System. High quality video and audio communication system is implemented to portable mobile aware notebook computers.

1 はじめに

ネットワークを配送手段として利用した高品質リアルタイム映像コミュニケーションツールである DVTS(Digital Video Transport System) の開発によって、ネットワークを利用した NTSC テレビと同等な高品質の映像・音声会議が可能となった [1]。ネットワークを利用した様々な遠隔会議・授業・イベントなどにおいて DVTS が利用され、その有用性が認められた。DVTS は、デスクトップ PC を中心とした機器で構築するため、極めて大きく小型化が求め

られた。一方、携帯型計算機(ノート PC)の性能が向上し、100Base-T ネットワークインターフェース、IEEE1394 インターフェースを装備した機種も発表され、極めてコンパクトで実用的な計算機システムが利用可能になった。Mini-PCI カードによる汎用性の高いバスインターフェースの統一化、クロック向上に伴うプロセッサの高速化といった性能と汎用接続性の向上、バッテリー運用のための節電処理といった機能の追加によって、ノート PC は小型化しつつ長時間のバッテリー運用が可能である。本研究では、可搬性が高く、携帯可能なノート PC で DVTS を利用するシステムの開発について論ずる。従来の DVTS では、ノート PC の可搬性確保のために限定された資源、特にプロセッサ、ネットワークインターフェースの処理能力限界によって、ジッタのない高品質な

[†]Communication Research Laboratory
4-2-1 Nukui-Kita Koganei Tokyo 184-8795, Japan
E-Mail: uhyo@sfc.wide.ad.jp, [take-s, snakagaw]@crl.go.jp
[‡]5322, Endo, Fujisawa, Kanagawa 252, Japan
E-Mail: [akimichi, osamu, jun]@sfc.wide.ad.jp
Members of Murai LAB, those in especially STREAM

映像・音声の転送が不可能であった。また、バッテリーによる運用、プロセッサ、周辺インターフェース・バスの節電機能を有効活用できないため、非効率である。ノート PC の特徴を応用した DVTS の改良、オペレーティングシステムの改良を行い、可搬可能で高品質な映像転送会議システムを可能とした。

2 DVTS

DVTS は映像、音声のデジタル符号化、圧縮に民生用 DV カメラ、ビデオデッキを用い高品質で効果的なデータ圧縮を低価格な機材で実現する [2][3]。DVTS は、3 つの基本アプリケーションにより構成される。

1. DV カメラから転送されてきた IEEE1394DV パケットを PC の IEEE1394 インターフェースから受信し、UDP にカプセル化し、IP を利用して受信側のネットワークに向けて送信するアプリケーション
2. UDP によってカプセル化され、転送された IEEE1394 DV パケットを脱カプセル化するアプリケーション
3. 脱カプセル化した DV パケットを PC の IEEE1394 インターフェースを通じ、DV ビデオデッキへ出力するアプリケーション

DV カメラから生成された IEEE1394DV パケットは、日本のテレビ標準信号である垂直解像度 525 本、映像フレームレート 29.97Hz の NTSC ビデオフォーマットを圧縮符号化し、提供する。DV パケットを IP によってカプセル化し転送すると、35 Mbps 以上のネットワーク帯域を必要とする。DV カメラから得られる映像フレームの破棄制御機構を用いる事によって、必要となるネットワーク帯域を減少可能である。DVTS では複雑な画像圧縮工程を用いないため、画像処理負荷が増加しない。圧縮のための複雑な処理は計算量を増加させ、負荷が増大するため、画像フレームを減少させる事による解決を行っている。

DVTS は、表 1 に示されるオペレーティングシステムで動作可能である。

3 DVTS とノート PC

DVTS の小型化が要求される中で、本研究では従来の DVTS の必要とされる要求 7 つに加えて、新たに小型化にあたって必要となる要求 2 つを目標に開発をおこなった。表 2 に DVTS の要求条件を示す。

ノート PC は、携帯性を確保するために極めて小型化された容積のなかに限定されたインターフェースを構築している。移動運用を前提としているため、バッ

表 1: DVTS のサポートするオペレーティングシステム

OS	dvsend	dvrecv	sdvsave	dvplay	dvshow
FreeBSD 4.x	○	○	○	○	○
Mac OS X	○	○	○	○	×
NetBSD 1.5.x	○	×	○	×	○
Linux 2.4.x	○	○	○	○	○
Windows ME	○	○	○	○	○
Windows 2000	○	○	○	○	○
Windows XP	○	○	○	○	○

表 2: DVTS の要求条件

1)	RTP(Real time Transport Protocol) の対応
2)	ネットワーク帯域調整機構の実現
3)	IPv6 への対応
4)	マルチキャストへの対応
5)	バーストトラフィックの改善
6)	利用可能帯域資源への動的な適応
7)	異種 OS との相互接続性
8)	資源節約機構への対応
9)	DVTS に特化したシステムの実現

テリによる電力供給を可能とし、その過程で、節電機能を併せ持つ [4]。ノート PC 上で動作する DVTS の開発にあたって、特に内蔵バッテリーによる運用時、高負荷による消費電力、発熱に伴う安全策としてのプロセッサ、バスクロックの動的変化に対応するために消費エネルギーに対して抽象化したオペレーティングシステムに着目し、柔軟に対応できるシステムの構築を目指した [5]。

3.1 資源節約機構の実現

ノート PC では、節電処理をオペレーティングシステムから、活用できるように APM(Advanced Power Management)、および、ACPI(Advanced Configuration and Power Interface) が実装されている [6]。また、各社独自の資源節約機構をハードウェアで構築している例もある。Crusoe プロセッサでは、LongRun 機能によって、動的にプロセッサの動作周波数、電圧を変更し、消費電力、熱量を削減している [7]。

特にハードウェアで実現されている資源節約機構は、オペレーティングシステム、アプリケーションが明示的にそれらの動作状態を変更する事も可能であり、Microsoft Windows 環境では、各社独自のデ

バイスドライバを供給している [8].

しかし、これら資源節約機構は Windows 単一オペレーティングシステムでのみ動作可能であり、機種依存性が高く、異なる機種でそれらの機能を有効に活用するためには専用のデバイスドライバ、API を作成する必要がある。

図 1 に従来の DVTS をノート PC で動作させた時に生じるパケットロスの増加を示す。測定ノート PC

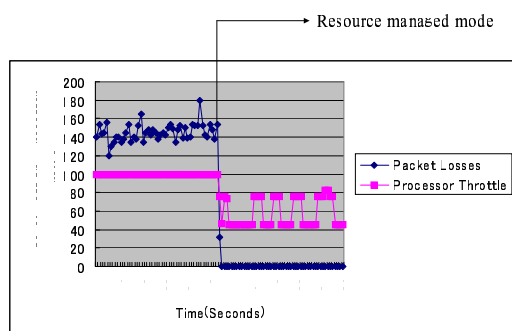


図 1: ノート PC で従来の DVTS を実行した時に生じるパケットロス

では、専用のデバイスドライバによって、プロセッサ及びバスクロックの資源節約機構を動作させている。これらの資源節約機構を制御できない従来のシステムでは、プロセッサの動作周波数を明示的に変更できないため、パケットロスが生じている。また、プロセッサ動作状況(プロセッサスロットル比)も動作周波数が適切ではないため、100%に至っている。55秒後に明示的に節約機構を起動しているため、以降はパケットロスが皆無となる。

オペレーティングシステム内で完結した節約機構を導入する事で、ユーザは意識する事無く資源節約機構を利用可能となるが、明示的なインターフェースをアプリケーションに提供する事によって、節約状況のモニタリング、アプリケーションからの明示的な節約機能の管理が可能となる。本設計では、これらをまとめ、以下に記される4つを実現した。

- 節電機能の有効化
- 汎用の管理 ioctl インターフェースの実現
- 節約機能のモニタリング機構の実現
- アプリケーションとの節約ハンドラーの実現

図 2 に、本設計における資源管理機構を示す。

ノート PC に実装されている各種節電機能 (APM) を利用するため、それらを包括する ACPI の実装を

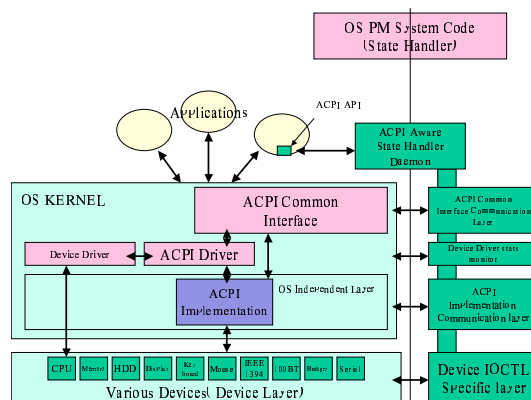


図 2: 資源管理機構

行った。FreeBSD 5.0 で実現される ACPI デバイスドライバを利用することによって、オペレーティングシステムで電力管理機能が実現できる。また、sysctl() を用いたインターフェースの節電機能の設定・閲覧機能を実装することによって、明示的に節電機能を変更する事も可能となる。

4 State Handler

デバイスの節約機能のモニタリング、動的変更を実現するためのアプリケーションとして、State Handler daemon を実装した。節約機能は、オペレーティングシステムとハードウェアとで自律したシステムだけではなく、ユーザ、アプリケーションとの積極的な協調性も求められる [9]。State Handler daemon は IPC によって実現され、DVTS との動的な節約機能の管理が可能である。また、ユーザからの動的な状況モニタリング、設定変更を行うアプリケーション (State Handler) を実装した。FreeBSD などでは実現されている apmd との共存を可能とするため、/dev/apmctl で実現している節電機能は、apm コマンド、State Handler の双方で利用できる。また、ハードウェアに依存したインターフェースの節約機能に関しては、State Handler によってのみ利用可能である。

4.1 閲覧・設定可能な節約機構

State Handler によって閲覧、設定の変更が可能なノート PC のインターフェースを以下に記す。

- プロセッサの温度・周波数・電圧
- バッテリーの充電状況・充電管理・消費電力・温度
- AC アダプタの利用状況
- 冷却ファンの動作
- 周辺温度
- PCI バス速度・バス利用率の確認

- 液晶ディスプレイの動作モード・周波数・明度
- ハードディスクの動作モード・状況
- ネットワークインターフェースの動作モード・状況

これらは、ACPI のレイヤによって実現され、レベルによって表現される。また、Intel 製、RealTek 製の一部イーサネットインターフェースに対して、インタラプト統合機能が本機構で利用可能となる。インタラプト統合機能によって、ネットワークから受信するパケットをイーサネットコントローラ内の recv バッファに蓄積、統合 (Aggregate) し、上位レイヤに転送する。パケット数を統合し、上位レイヤに報告するため、バスインタラプト減少させる事が可能となり、バス利用効率の節約が可能となる。

4.2 ハードウェアに依存した節約機構

ノート PC によっては、設計上、ハードウェアによって隠蔽された節約管理機能を有する。あるノート PC ではプロセッサの動作周波数の設定を最大にした場合、バッテリーの充電処理は中断され、バッテリー電源、及び AC 電源の双方からの電源供給を強制的に行うという設定に変更される。このように、ハードウェアに依存した節約機能も State Handler によってユーザ・アプリケーションがモニタリング可能となり、状況によって、適切な設定に変更可能となる。

5 可搬型 DVTS 会議キット

高品質な映像・音声転送ツールとして DVTS を様々な遠隔イベント、会議で利用する機会が増加している。従来のテレビ放送と同等以上の映像・音声品質を得られるため、DVTS が必要とするネットワーク帯域が確保可能な場所での遠隔会議が可能である。ノート PC を母体とした、可搬型 DVTS キットの開発によって、極めてコンパクト、かつ少ない資材での運用が可能となった。

従来行っていた DVTS を用いた遠隔地からのイベント・会議中継において、下記に記される条件が必要とされた。

- 可搬性の高いシステムである事
- 持ち運びやすい形態で収納可能なこと
- 複数のオペレーティングシステムでの運用が可能
- 必ずしも 100V 電源を必要としない事

デスクトップ PC を主体とした従来の DVTS では、遠隔イベントのために必要となる資材が必然的に大きくなる。

表 3 に携帯 DVTS 会議キットの詳細を示す。図 3 に携帯 DVTS 会議キットの全体図を示す。

表 3: 携帯 DVTS 会議キットのリスト

物品	個数
Casio Fiva PC 本体	2
Fiva AC アダプタ	2
DVTS フロッピー	1
Sony DV カメラ	1
DV カメラ用 AC アダプタ	2
DV カメラ AC 用接続ケーブル	2
DVCam ポータブルデッキ	1
小型拡張電源タップ	2
マイクロホン	1
Cat 5 イーサネットケーブル	2
DV IEEE1394 ケーブル	2
S ビデオケーブル	1
ビデオ・音声 RCA ケーブル	1



図 3: 携帯 DVTS キットの全体図

5.1 DVTS 起動フロッピー

DVTS 起動フロッピーでは、FreeBSD 4.4 ピコカーネル、ネットワーク用コマンド、節約・管理制御コマンド、DVTS を 1 枚の 2HD 1.44MB に圧縮構築している。フロッピーからのブートが可能である IEEE1394、ネットワークインターフェースを装備した PC のある環境では、新たに OS や環境整備をする必要なく DVTS を構築できる。

本実装は、FreeBSD 4.4 の カーネルを DVTS 用に小型化し、実現している。crunch 機構を用い、一つのコマンドに収容化することで、ライブラリの共有化を行っている [10]。必要のないライブラリ、デバイスドライバを削除する事によってカーネルサイズを

小容量化している。

本フロッピーで利用できるコマンドを図 4 に示す。

表 4: DVTS 起動フロッピー

cat	chmod	cp	dd	df	echo	expr	kill	fsck
ln	ls	mkdir	mv	rm	rmdir	sleep	sync	reboot
cli	dmesg	mknod	mount	swapon	umount			
ln	telnet	ssh	ftp	dhclient	ifconfig	arp	route	
				dvsend	dvrecv	dvplay		
				state_handlerd	state_handler			
				apm	apmd	acpicnf	acpidump	
				ps	sh	sshd		

本機構はフロッピーからブートし、実行されるため、ノート PC で高い消費電力を有するハードディスクを利用しない。そのため、消費電力を節約できる。

6 評価

本実装を基に、評価を行うための評価機種を表 5 に示す。評価は、複数の世代にわたるノート PC 上で行った。古い開発世代のノート PC では、節電機能の一部を利用できないため、通常のデスクトップ PC と同様な設計が行われている。従来のデスクトップ PC と比較するため、デスクトップ PC も評価対象に加えた。

表 5: 評価機種

Model	CPU	Clk	Mem	Net	IEEE1394
SHARP1	M-P3	600	128	RealTek	OHCI
SONY1	M-P2	333	128	IntelFXP	CXD1947
SONY2	MPMMX	233	96	PCMCIA	CXD1947
IBM1	M-P3	366	192	IntelFXP	PCMCIA
IBM2	M-P3M	1133	640	IntelFXP	PCMCIA
FUJITSU1	Crusoe	533	128	IntelFXP	OHCI
CASIO1	Crusoe	600	192	RealTek	OHCI
IBM3	M-P3	800	640	IntelFXP	OHCI
DESK1	P3	1000	256	IntelFXP	OHCI

6.1 DVTS 実行時における資源管理機構の評価

プロセッサの動的な処理速度制御機構の評価として、DVTS の受信パケットロスによる評価を行った。図 4 に評価環境を示す。100Base-T によって DVTS 送信側ノート PC、DVTS 受信側ノート PC を接続する。

図 5 に、ユーザの明示的なプロセッサのクロック変更によって生じる DVTS のパケットロスの変化を示す。評価を行った PC では、4 段階のプロセッサクロックの変更が可能であり、クロックの変化に伴いパケットロスも減少しているのがグラフに現れている。

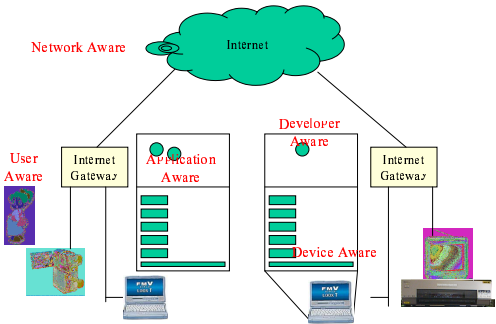


図 4: 資源管理機構の評価環境

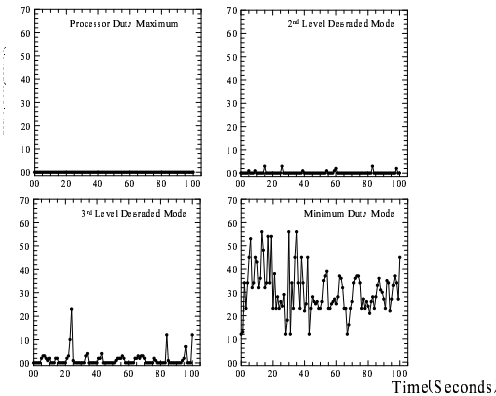


図 5: クロック変更に伴うパケットロスの変化

る。なお、評価機種では、PCI バスクロックも連動して変化した。

6.2 映像品質の評価

state handler による資源管理・節約機構によって、オペレーティングシステムのみならず、アプリケーション、ユーザからの明示的なデバイスの設定変更が可能になり、DVTS におけるパケットロス、ジッタの削減が可能となった。

図 6 に示される評価環境において、映像の品質評価を行った。NTSC テスト信号発生機から生成されるテスト信号を DVTS を用いて転送、受信し、その映像を波形・ベクトルモニタで表示、再生映像の画質評価を行う。テスト信号は、NTSC カラーバー、マルチバーストの 2 種類を定期的に変更する事によって行った。NTSC カラーバーでは映像の再現性、パケットのジッターによる劣化、マルチバーストでは、周波数特性の劣化を評価できる。図 7 にノート PC で従来・及び本研究における実装の DVTS 双方を用い転送を行った時の映像の品質劣化状況を示す。全



図 6: 映像の品質評価環境

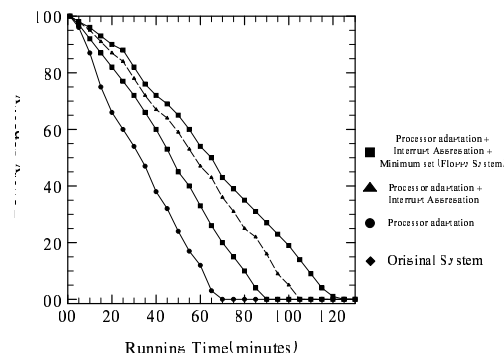


図 8: Total evaluations

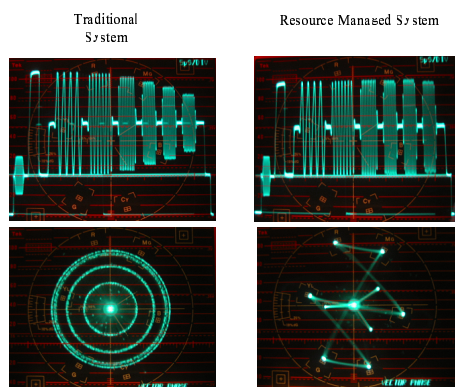


図 7: NTSC テスト信号における DVTS の劣化評価

種類のノート PC を評価対象機種として用い、それぞれ、本実装・従来実装の双方の評価を行ったが、いずれもアプリケーション、ユーザの能動的な設定管理によって、画質が改善された。

6.3 節電機能の評価

本実装によって、図 8 に示されるように従来のシステムでは、75 分の稼働時間が、平均して最大 125 分まで延びたのが確認できた。

7 終りに

本研究では、DVTS の小型化の要求に伴い、ノート PC での DVTS を実現するために必要となる各種節約・管理機構を実現した。本機構は、DVTS に限らず一般的なアプリケーションを利用する上でも、ユーザとオペレーティングシステム、ハードウェアとの能動的な協調支援が可能であり、より効果的な携帯運用が可能となる。State Handler による明示的なインターフェースの管理機構は、まだプロトタイプであり、汎用化の課題が残されるが、より柔軟な抽象

化機構の提供によって、通常の PC 支援環境として利用できる。

参考文献

- [1] Stream WG, DVTS Project, <http://www.sfc.wide.ad.jp/DVTS>, as of Feb 2002.
- [2] 杉浦 一徳, 櫻田 武嗣, 小川 晃通, 「高品質メディア IP 転送技術の実証実験報告」, 情報処理学会「情報処理」, 2000 年 Vol. 41 12
- [3] Akimichi Ogawa, Kazunori Sugiura, Katsushi Kobayashi, Osamu Nakamura, Jun Murai, “Design and implementation of DV Stream Over Internet”, IWS Internet Workshop 99, 1999 IWS
- [4] 杉浦 一徳, 小川 晃通, 中村 修, 村井 純, 「IEEE1394 による家庭内ネットワークとインターネットの相互接続性」, 「計測と制御」, 第 39 巻 8 号
- [5] Kazunori Sugiura, Kimio Ishii, Jun Murai, “Implementation and Evaluation of Mobile Computing Environment”, IPSJ-92-DPS-60, Information Processing Society of Japan, 1993, March.
- [6] Intel, Microsoft, Compaq, and Toshiba, Advanced Configuration and Power Interface — ACPI Standard, ACPI Standardization Group, 2001
- [7] Transmeta, Crusoe Processor Specifications, <http://www.transmeta.com/technology/specifications/index.html>, as of 2002 Feb.
- [8] Microsoft Corporation, Windows [Me 2000 XP [Home edition Professional]], <http://www.microsoft.com>, as of 2002 Feb.
- [9] Erik P. Harris, Steven W. Depp, William E. Pence, Scott Kirkpatrick, M. Sri-Jayantha and Ronald R. Troutman, Technology Directions for Portable Computers, Proceedings of the IEEE, April, 1995
- [10] FreeBSD, [/usr/src/release/picobsd/doc/src/intro.html](http://usr/src/release/picobsd/doc/src/intro.html), FreeBSD 4.4-RELEASE, 2002