

様式 C-19

科学研究助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月20日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500063

研究課題名（和文） 視聴者振る舞いの認識によるテレビ消費エネルギー削減技術の開発

研究課題名（英文） Development of technology for TV energy reduction based on user behavior monitoring

研究代表者

V. G. Moshnyaga (V. G. MOSHNYAGA)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：40243050

研究成果の概要（和文）：本研究では、テレビでのエネルギー消費を削減するために、ビデオ・カメラを使用して視聴者振る舞いの認識によるテレビ電力管理技術を確立した。本技術を実現するための視聴者の振る舞いを認識する様々な低消費電力設計手法を提案し、イメージ・センサのアーキテクチャ、構成、設計に関する調査を行い、3つのプラットフォーム（即ち、通常のノートPC、小型組込みシステムボード、FPGA回路）による視聴者の振る舞いを認識装置を実装をした。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed new technology capable of reducing energy consumption of TV sets by monitoring TV users in real time with a single video camera. To realize the technology, we proposed various techniques of user behavior recognition and low-power design and implemented the technology in three different platforms, namely, notebook PC, embedded system and FPGA.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード： 計算機システム、ハードウェアアーキテクチャ、ハードウェア設計・情報機器

1. 研究開始当初の背景

現代の家庭内では、テレビはエネルギーを最も消費する電子機器の1つである。現在の一般的な42型プラズマ・テレビは300Wもの電力を消費し、CO₂年間排出量は約400kgと算出される。環境面の影響を抑制するために

は、テレビのエネルギー消費を可能な限り縮小させる必要がある。近年、国内外で、テレビの消費エネルギー削減を目的とする技術が数多く提案されている。例えば、表示画像データを解析し、変化が無い場合フレーム・レートを落としたり、画像データの色解像度

イメージセンサーが取ったイメージ



テレビの状態



通常モード
(消費電力: 200W)



低消費電力モード
(消費電力: 100W)



スタンバイモード
(消費電力: 1W)

図1：提案した技術

を落としたりバックライト光量を落とすといったものがある。また、暗いシーンでバックライトの照度を落とす「インテリジェント・バックライト・コントロール」や、視聴者別の輝度/コントラストや、部屋の明るさに応じた輝度制御を行なう「家庭画質モード」の切り替えて明るさを抑えるといった技術が組み込まれている製品も登場している。

だが、そうした技術は違えども、1つの共通する課題を抱えている。それは、いずれも視聴者の注視・注目先を完全に無視していることである。ニールセン・メディア・リサーチ社の調査報告によると、2005～2006年にかけて米国の1世帯がテレビをONにしていた時間は一日あたり8時間14分であった。しかしながら、我々はいつもテレビの画面を見ているわけではない。上記の調査報告によると、アメリカ人一人のテレビ視聴時間は一日あたり4時間35分であった。その時間の大半は、誰もテレビ画面を見ていないのに、テレビの電源は入っている状態である。視聴者がテレビ画面に視線をやっていない、あるいはテレビの前から離れていて誰も画面を見ていない状態ですらあるにもかかわらず、テレビ画面はハイパワー・モードで動作し、高品質映像を出力し、無駄にエネルギーを浪費しているわけである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、テレビのエネルギー消費を低減させるための、新たな電力管理技術を開

発することである。現在の電力管理技術と対照的に、新技術ではイメージ・センサでもって視聴者の振る舞いを認識することによりテレビのエネルギー消費を適切に管理することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、イメージ・センサを用いて、テレビ視聴者の視線を認識し、その結果によりディスプレイの電力管理を行う。普通のビデオ・カメラとこのイメージ・センサは撮影された画像を認識し、「視聴者がテレビの前に居るか、否か」、また、視聴者がテレビの前にいる場合は、「テレビの画面を見ているか否か」を判断することができる。その結果はテレビ・コントローラに送信される。テレビ・コントローラはイメージ・センサからの受け取った信号に基づいて、視聴者が必要とするとおりにテレビ画面を適応的に制御する。つまり、視聴者がテレビの前に居ない場合、コントローラはテレビの電源状態をスタンバイにする。また、視聴者がテレビの前に居て、テレビ画面を見ている場合、コントローラはテレビを通常の状態にし、また、バックライト輝度を上げる(例:図1右の写真)。もし、誰も視聴者がテレビ画面に視野を向けていない状態を検出したならば、消費エネルギー削減のため徐々にバックライトの輝度を落とすよう動作し(例:図1中の写真)、もし、ある視聴者が画面に視線を戻したことをイメージ・センサが検出したら、確実に通

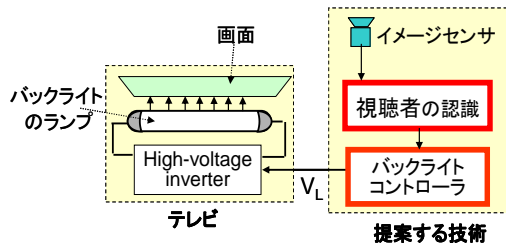


図2: システム構成

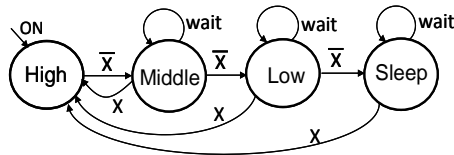


図3: コントローラの遷移図

常の状態に戻す。視聴者がテレビを離れセンサー範囲外に移動したことを検出したなら、コントローラはテレビをスタンバイ状態にする(例: 図1左の写真)。その後、視聴者が戻ってきてリモコンやテレビの電源ONボタンを押すとサイドアクティブ状態に復帰する。既存技術と比較すると、提案した技術は、視聴者の振る舞いをテレビが正確に認識し、視聴者のニーズに応じてより効率的にテレビ動作モードの制御を可能にするという、極めて独創的な特徴を有する。

4. 研究成果

本研究の主な成果は、具体的には下記の3つに分けられる。

- (1) テレビ消費エネルギーを低減させるための新たな電力管理技術
- (2) 低消費エネルギーを目的とした、視聴者の振る舞い認識の最適化
- (3) テレビの電力管理システム

4.1. テレビ消費エネルギーを低減させるための新たな電力管理技術

現在の電力管理技術と対照的に、新技術では、テレビ前面にビジョン・センサを埋め込み、撮影された画像を認識し、「視聴者がディスプレイの前に居るか居ないか」また視聴者がテレビの前にいる場合は「テレビ画面を見ているか否か」を判断によりテレビ・バックライトの電源電圧を適応的に制御する。図2に示すようにコントローラではその情報から適当なバックライト印加電圧レベルを求め、バックライト輝度を制御する。図3にコントローラの遷移を示す。この図の丸印はテレビ状態に対応する、Xは「視聴者がテレビを見ている」状態に対応する。本技術を実現する

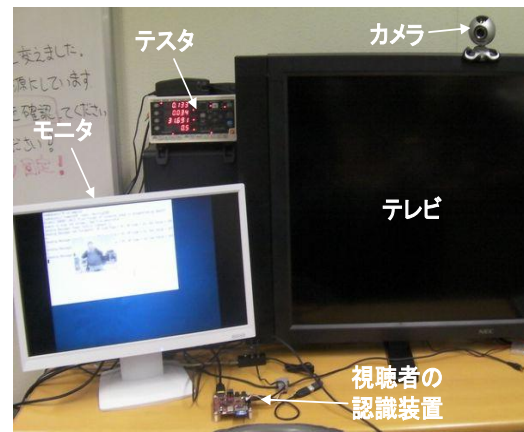


図4: システムの写真

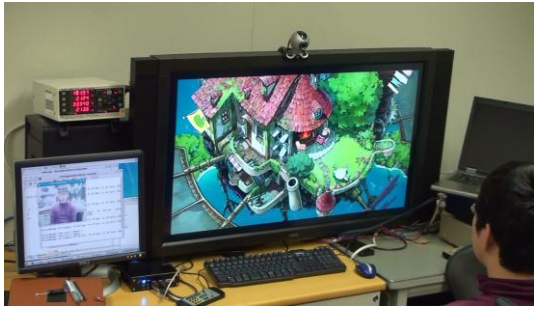
ための視聴者の振る舞い及び視線を監視する手法を提案し、消費エネルギー・オーバーヘッドを削減するためのアルゴリズム最適化を行い、様々な低消費電力設計手法を提案した。

4.2. 低消費エネルギーを目的としたユーザー振る舞い認識の最適化

視聴者の振る舞い認識処理の消費エネルギーを削減するための動画像における顔検出処理に関する演算量とメモリ・アクセス回数を削減する手法を検討し、アルゴリズムの最適化を確立した。即ち、6分割矩形フィルタによる瞳検出方法に基づき、動画像の相関関係を利用して顔動き予測処理により、顔探索領域を減少化し、演算量やメモリ・アクセス回数を削減する最適化した。最適化した6分割矩形フィルタは他の手法よりも比較的少ない演算量で顔を検出することができる。実験結果により、テストの動画像において、従来手法と比べ、同一成功率で、約70%の演算量削減に成功した。

4.3. ディスプレイの電力管理システム

視聴者の振る舞いを認識するイメージ・センサのアーキテクチャ、構成、設計に関する調査を行い、3つのプラットフォームにおいて視聴者の振る舞いを認識する装置を実装した。第1は、通常のノートPC (1.66GHz Intel Atom N280 プロセッサ搭載 EeePC1000HE, Fedora Linux) でのソフトウェア実現であり、第2は、ARM プロセッサを混載した小型組込みシステムボード(Beagle Board)であり、第3は Altera Cyclone-II 2C70 搭載 FPGA ボードでのハードウェア回路実現である。表1に開発したFPGA回路の諸元を示す。第1と第2実装では NEC LCD-V421 テレビと Logicool QW-4000 カメラ (320x240 画素) を使い、カメラと顔認識装置とは USB で、テレビと顔認識



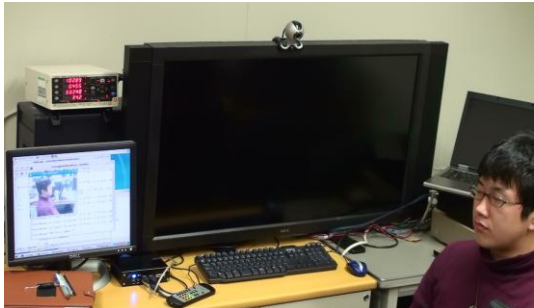
(ア)



(イ)



(ウ)



(エ)

図5: テレビの照度変化例: (ア) 視聴者が画面を見ている状態 (消費電力は193W) と視聴者が画面を見ている状態 (イ) 消費電力は150W; (ウ) 消費電力は93W; (エ) 消費電力は1.1W.

装置とはRS-232C シリアルケーブルで接続される。試作したシステムの写真を図4に示す。Beagle Board システムでは視聴者の認識処理やテレビ電力モードの切り替え制御等を組み込みLinux OS (Ubuntu) 上に実現した。また、FPGA チップに実装した視聴者認識装置における実験では、実時間(1秒間で8枚画像のレート)かつ約3m距離で88%の確率で視聴者顔認識を実現できた。このFPGAボードの消費電力は375mWであり、これはBeagle Board

表 1: 開発した視聴者顔検出回路の諸元

Parameter	Value
System clock frequency	27MHz
External voltage	3.3V
System gate count	250000
Logic cell count	13808
Memory size	216Kb
Frame size (pixels)	320x240
Detection rate	8fps
Power	375mW

上のソフトウェア処理の約1/3であり、ノートPC上でのソフトウェア処理の約1/12となることがわかった。図5に視聴者がテレビ画面を見ていると画面を見ている状態に対応したテレビ照度の変化例を示す。提案した技術を適用することで、液晶テレビのエネルギー消費は図5のように視聴者の振る舞いに伴って変化し、既存技術と比較して、大幅な削減を実現できた。実際に視聴者がテレビの不活動間隔を120分に設定した場合と比較して(図6に参考)、エネルギー消費を30%程度削減できることがわかった。

本研究は今日のテレビの電力管理技術が含む矛盾を排除することを第一目的としており、それゆえに重要である。本研究で生み出される独創的なイメージ・センサ・ベースのテレビ電力管理技術により、視聴者の振る舞いを的確に無駄なく監視できるため、テレビの消費エネルギーを著しく減少させることが可能になった。

我々は視聴者の振る舞いを監視するためのFPGA回路を開発し、本提案技術の有効性を実証した。今後はシステム全体の消費エネルギーを抑えるべく、CMOSイメージ・センサと顔認識回路全体の大規模集積回路化の実現について研究を進めていきたい。また、提案した技術のIRカメラへの応用・最適化もあわせて行っていきたい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計15件)

- [1] T. Ando, V. G. Moshnyaga and K. Hashimoto, "A low power FPGA implementation of eye tracking", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, March 26-30, Kyoto, Japan, pp.1573-1576, (2012). 査読有。
- [2] V. G. Moshnyaga, K. Hashimoto, T. Suetsugu, Camera-driven power management of computer display, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, accepted for publication, early access article, DOI: 10.1109/TCSVT.2011.2177941, Vol. PP, No. 99,

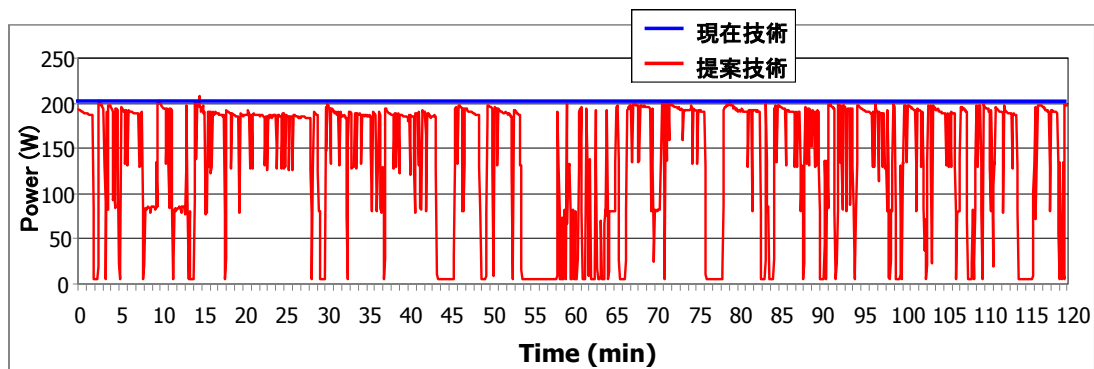


図6: 実験結果例

- pp.1-13 (2012) 査読有.
- [3] Chungun Lee, V.G. Moshnyaga, K. Hashimoto, "Embedded System for Camera-Based TV Power Reduction by Viewer Monitoring", Proceedings of the Euromicro Conference on Digital System Design, pp.764-768, 2011. 査読有.
- [4] Chungun Lee and V.G. Moshnyaga, "TV Energy Management by Camera-Based Viewer Monitoring", Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp.949-952, 2011. 査読有.
- [5] Choong Geun Lee, V.G. Moshnyaga and K. Hashimoto, "Using video technology for reducing TV energy", Proceedings of the 17th Korea-Japan Workshop on Frontiers of Computer Vision, pp.1-6, 2011. 査読有.
- [6] T. Matsubara, V.G. Moshnyaga, K. Hashimoto, "A Low-Complexity and Low Power Design of 2D-Median Filter", ECTI Transactions on Computer Engineering, Computer and Information Technology, Vol. 5, No 2, pp. 1-9, 2011. 査読有.
- [7] 安藤 智晃, 橋本 浩二, モシニャガ ワシリ二, 「使用者瞳認識によるディスプレイ電力管理システムのFPGA実装」, 第24回回路とシステムワークショップ, 2011年8月. 437-443. 査読有.
- [8] 山本 竜也, 橋本 浩二, モシニャガ ワシリ二, 「デジタル・ハードウェア研究開発を題材とするPBLへの取り組み」, 組込みシステムシンポジウム, 頁6.1-6.10, 2011年11月. 査読有.
- [9] V.G. Moshnyaga, K. Hashimoto, T. Suetsugu, and S. Higashi, "A hardware implementation of the user-centric display energy management", Integrated Circuit and System Design, Power, Timing Modelling and Simulation, J. Monteiro and R.V. Leuken (Eds), Springer LNCS 5953, pp. 56-65, 2010. 査読有.
- [10] V.G. Moshnyaga, "A New Approach for Energy Management in User-Centric Applications", Proceedings of the IEEE International Green Computing Conference, pp.107-112, 2010. 査読有.
- [11] V.G. Moshnyaga, "The Use of Eye Tracking for PC Energy Management", Proceedings of the ACM Symposium on Eye-Tracking Research and Applications, pp.113-116, 2010. 査読有.
- [12] V.G. Moshnyaga, "Want to save Energy? - Put Intelligence into Systems", The 8th WSEAS International Conference on Circuits, Systems, Electronics, Control and Signal Processing, pp.302-307, 2009. 査読有.
- [13] V.G. Moshnyaga and K. Hashimoto, "An Efficient Implementation of 1-D Median Filter", Proceedings of the 52-th IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems, pp. 451-454, 2009. 査読有.
- [14] T. Yamamoto and V.G. Moshnyaga, "A New Bit-Serial Architecture of Rank-Order Filter", Proceedings of the 52-th IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems, 2009, pp.511-514. 査読有.
- [15] S. Yamamoto and V.G. Moshnyaga, "Algorithm Optimizations for Low-Complexity Eye-Tracking", Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.18-22, 2009, 査読有.
- [学会発表] (計3件)
- [1] V.G. Moshnyaga, "Non-traditional Approach to Computer Energy Reduction", Computer Engineering and Applications (CEA 2012), Harvard Univ., Cambridge, MA, USA, Jan.25-27, 2012, (Plenary Talk)
- [2] V.G. Moshnyaga, "A User-Centric Energy Management of Electronic Devices and Systems", IASTED International Conference on Circuits and Systems, Maui, Hawaii, USA, Aug.23-25, 2010, (Plenary Talk),
- [3] 橋本 浩二, モシニャガ ワシリ二, 「組込みシステムの超低消費電力化を達成するための高スループットTCP/IPオフロード・エンジン」, 電子情報通信学会全国大会論文集, 頁103, 2010年3月16~19日. 仙台市
- [図書] (計2件)
- [1] V.G. Moshnyaga, "Understanding and exploiting user behavior for energy

saving”, Chapter 50, “Handbook of Energy-Aware and Green Computing”, Vol. 2, (pp. 1145-1157), I. Ahmad, S. Ranka (Editors), CRC Press, 1284 pages, Jan. 2012.

[2] V. G. Moshnyaga, “A Camera-Based Energy Management of Computer Displays and TV Sets”, Chapter 7 (pp. 137-156), “Energy Technology and Management”, T. Aized (Editor), InTech, 228 pages, Sep. 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

V. G. Moshnyaga (MOSHNYAGA VASILY)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：40243050

(2) 研究分担者

鶴田 直之 (TSURUTA NAOYUKI)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：60227478

末次 正 (SUETSUGU TADASHI)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：60279255

橋本 浩二 (HASHIMOTO KOJI)

福岡大学・工学部・助教

研究者番号：40412572