

Title	レガシーデバイスを用いたホームネットワーク構築における機器の状態取得及び管理に関する研究
Author(s)	松崎, 寛之
Citation	
Issue Date	2005-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1917
Rights	
Description	Supervisor:丹 康雄, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

レガシーデバイスを用いたホームネットワーク構
築における機器の状態取得及び管理に関する研究

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報システム学専攻

松崎 寛之

2005 年 3 月

修 士 論 文

レガシーデバイスを用いたホームネットワーク構築における機器の状態取得及び管理に関する研究

指導教官 丹 康雄 助教授

審査委員主査 丹 康雄 助教授
審査委員 篠田 陽一 教授
審査委員 敷田 幹文教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報システム学専攻

310104 松崎 寛之

提出年月: 2005 年 2 月

概 要

近年，家電の高機能化に伴いネットワークを経由しての家電制御システムや家電同士をネットワークでつなぐための規格がいくつか提案，実用化されている．しかし，これらを導入しホームネットワークを利用するためには，既存のホームネットワーク規格に沿った家電（ネットワーク家電）へと機器の買い換えが必要となり，利用者にかかるコスト面での負担は大きく，現在普及していない．

本研究では，ホームネットワークを構築する際に問題となる機器の買い換えを行う必要のない，既存の家電機器（LegacyDevice）を用いたホームネットワークを実現する．そのために赤外線センサなどを用いたLDの状態取得方法及び有限状態機械を用いたLDの管理方法を提案する．LDの制御にリモコンから送出される赤外線信号を用い，様々なセンサを用いて赤外線信号や温度・湿度などを監視し，LDの状態を取得する．また，機器を複数の部分状態機械が並行して動作する複合状態機械として機器のモデル化を行う．以上の手法によって，LegacyDeviceを情報家電機器と同様に扱い，ネットワーク家電を用いたホームネットワークで実現可能な連動動作といったサービスをLegacyDeviceを用いたホームネットワークで安価に実現可能となる．

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究目的	1
1.3	本論文の構成	2
第2章	ホームネットワーク	3
2.1	ホームネットワークとは	3
2.2	ホームネットワーク規格	3
2.2.1	ECHONET	3
2.2.2	HAVi	4
2.2.3	AV/C	5
2.2.4	X-10 プロトコル	5
2.3	まとめ	6
第3章	LegacyDevice ホームネットワーク	7
3.1	LegacyDevice とは	8
3.1.1	LegacyDevice の分類	8
3.2	LegacyDevice ホームネットワークの実現	9
3.2.1	LegacyDevice の管理方法	9
3.2.2	LegacyDevice の制御取得方法	9
3.3	システム構成	10
3.3.1	処理ユニット	11
3.3.2	センサ	11
第4章	状態管理方法	13
4.1	LegacyDevice のモデル化	13
4.1.1	有限状態機械	13
4.1.2	機能分割・細分化	13
4.2	状態遷移表の作成	20
4.2.1	自動遷移表書換シーケンス	21
4.2.2	aux-tuner への対応	22
4.3	イベント	23

4.3.1	通常イベント	23
4.3.2	内部遷移イベント	23
4.4	イベントの実行	25
4.4.1	電源への対応	25
4.4.2	例外制御への対応	26
4.4.3	部分状態機械の選択	29
4.5	状態管理方法の確認	30
4.5.1	状態遷移	30
4.5.2	自動遷移表書換シーケンス	34
第 5 章	状態制御取得方法	39
5.1	LegacyDevice の制御方法	39
5.1.1	赤外線信号の特徴	40
5.1.2	赤外線リモコンの動作原理	40
5.1.3	赤外線信号の形式	40
5.2	受動的状態取得	45
5.2.1	センサ情報の利用	45
5.2.2	赤外線センサを用いた方法	46
5.2.3	他センサを用いた方法	46
5.3	能動的状態取得	48
5.3.1	識別用信号の入力	48
5.4	状態取得方法の確認	52
5.4.1	能動的状態取得	52
第 6 章	システム設計	56
6.1	システムの概要	56
6.2	処理ユニット	57
6.2.1	manager	57
6.2.2	状態取得・処理部	58
6.2.3	statetable	59
6.2.4	データベース	59
6.2.5	イベントの処理	60
6.3	自動遷移表書換シーケンス	62
6.4	他規格との接続	63
6.4.1	システム構成	63
6.4.2	メッセージフォーマット	65
6.5	manager 間シーケンス	66
6.6	システム評価	74
6.6.1	測定環境	74

6.6.2	状態変更にかかる時間の測定	74
6.6.3	制御にかかる時間の測定	75
6.6.4	他システムからの制御にかかる時間の測定	75
第 7 章	アプリケーション実装例	76
7.1	ホームオートメーション	76
7.1.1	動作手順	77
7.2	関連システムとの比較	78
7.3	既存のホームネットワーク規格との比較	78
第 8 章	終わりに	83
8.1	今後の課題	83
8.1.1	状態取得方法の検討	83
8.1.2	例外・障害発生時の対応	83
8.1.3	センサ情報の蓄積	83
8.1.4	センサの位置	84
8.1.5	サービスの競合	84
8.2	本論文のまとめ	84
	謝辞	86
	付 録 A 電源コントローラ	89
	付 録 B 回路	91
B.1	赤外線発光部	91
B.2	赤外線受光部例	91
B.2.1	測定	92
	付 録 C 赤外線センサの配置	94
	付 録 D 機器のコスト	97
	付 録 E 部分状態機械-状態遷移表	100
E.1	power	100
E.2	aux	100
E.3	tuner	101
E.4	amp	102
E.5	player/recorder	103
E.6	open/close	105
E.7	mode	106
E.7.1	angle	106

E.7.2	drive	106
E.7.3	wind	107
E.8	environment	108
E.8.1	humid	108
E.8.2	illumination	108
E.8.3	temp	109

目 次

1.1	状態取得管理システム概要	2
3.1	LD の分類	8
3.2	システム構成図	10
4.1	部分状態機械	14
4.2	遷移表作成の流れ	21
4.3	電源 OFF 時の状態遷移	26
4.4	部分状態機械の関係	29
4.5	部分状態機械 - amp	31
4.6	部分状態機械 - player/recorder(1)	32
4.7	部分状態機械 - player/recorder(2)	32
4.8	部分状態機械 - aux	33
4.9	部分状態機械 - power	33
5.1	PPM 変調 (家電協フォーマット)	42
5.2	家電協フォーマット	42
5.3	トレイラ部	43
5.4	リーダ部	43
5.5	PPM 変調 (日本電気フォーマット)	44
5.6	リピートコード部	44
5.7	日本電気フォーマット	44
5.8	源画像 (クリア画像)	50
5.9	FFT 後	50
5.10	源画増 (ノイズ画像)	50
5.11	FFT 後	50
5.12	変換前	51
5.13	変換後	51
5.14	変換前	51
5.15	変換後	51
5.16	領域変換	51
5.17	特性グラフ	52

5.18	フィルタの回路図	53
5.19	シミュレーション結果 (AC 解析)	54
5.20	実験結果	55
6.1	システム構成図	56
6.2	ソフトウェア構成	58
6.3	LegacyDevice データベースのテーブル情報	59
6.4	イベント処理	61
6.5	自動遷移表書換シーケンス	63
6.6	他規格のシステム構成	64
6.7	ゲートウェイ	65
6.8	ゲートウェイ間通信に用いるメッセージフォーマット	66
6.9	ゲートウェイからの機器の問い合わせ	67
6.10	本システムからの機器の問い合わせ	68
6.11	リモコンでの家電の制御	70
6.12	ゲートウェイからの機器制御	72
6.13	他規格機器の制御	73
7.1	実験環境	76
A.1	回路図	89
A.2	実装の様子	90
B.1	赤外線発光部の回路例	91
B.2	赤外線受光部の回路例	91
B.3	測定結果-照度値	93
B.4	測定結果-温度値及び湿度値	93
C.1	受光範囲	94
C.2	実験環境	95

表 目 次

4.1	機器と対応する部分状態機械	15
4.2	部分状態機械の種類	16
4.3	部分状態機械 (POWER) に対する入力信号	17
4.4	部分状態機械 (PLAYER/RECORDER) に対する入力信号	17
4.5	部分状態機械 (AUX) に対する入力信号	18
4.6	部分状態機械 (TUNER) に対する入力信号	18
4.7	部分状態機械 (OPEN_CLOSE) に対する入力信号	18
4.8	部分状態機械 (AMP) に対する入力信号	18
4.9	部分状態機械 (ENVIRONMENT_HUMID) に対する入力信号	19
4.10	部分状態機械 (ENVIRONMENT_ILLUMINATION) に対する入力信号	19
4.11	部分状態機械 (DRIVE, WDIR, WIND) に対する入力信号	19
4.12	部分状態機械 (ENVIRONMENT_TEMP) に対する入力信号	19
4.13	aux-tuner 状態遷移表	22
4.14	内部遷移イベント発生条件	24
4.15	例外制御時のリカバリ設定状態例	27
4.16	selector	29
4.17	実験対象	34
4.18	player/recorder 部分状態機械 - sony 共通 (1)	35
4.19	player/recorder - sony 共通 (2)	35
4.20	player/recorder 部分状態機械 - panasonic 共通 (1)	36
4.21	player/recorder 部分状態機械 - panasonic 共通 (2)	36
4.22	player/recorder 部分状態機械 - DSR-20(1)	37
4.23	player/recorder 部分状態機械 - DSR-20(2)	38
5.1	センサ情報と状態情報の対応関係例	47
5.2	センサの種類とセンサから得られるセンサ情報	47
5.3	TV のチャンネルと周波数	53
5.4	VHF1 フィルタ	53
5.5	VHF2 フィルタ	53
5.6	UHF フィルタ	53
6.1	センサデータベースのテーブル情報例	60

6.2	赤外線データベースのテーブル情報	60
6.3	測定環境	74
6.4	状態変更にかかる処理時間	74
6.5	制御にかかる処理時間	75
6.6	他システムからの制御にかかる処理時間	75
7.1	サービス比較 (1)	81
7.2	サービス比較 (2)	82
C.1	赤外線リモコン仕様	95
C.2	距離 3m-機器が隣接している場合	96
C.3	距離 3m-機器が離れている場合	96
C.4	距離 6m-機器が隣接している場合	96
C.5	距離 6m-機器が離れている場合	96
D.1	フィルタのコスト	97
D.2	電源コントローラのコスト	97
D.3	赤外線受光器のコスト	98
D.4	赤外線発光器のコスト	98
D.5	照度センサのコスト	98
D.6	温度センサのコスト	98
D.7	湿度センサのコスト	99
E.1	POWER 部分状態機械	100
E.2	AUX 部分状態機械	100
E.3	TUNER 部分状態機械	101
E.4	AMP 部分状態機械	102
E.5	PLAYER/RECORDER 部分状態機械 (1)	103
E.6	PLAYER/RECORDER 部分状態機械 (2)	104
E.7	OPENCLOSE 部分状態機械	105
E.8	ANGLE 部分状態機械	106
E.9	DRIVE 部分状態機械	106
E.10	MODE 部分状態機械	107
E.11	HUMID 部分状態機械	108
E.12	ILLUMINATION 部分状態機械	108
E.13	TEMP 部分状態機械	109

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

近年、家電の高機能化に伴いインターネットを経由しての家電制御システムや、家電同士をネットワークでつなぐための規格がいくつか提案、実用化されている。ホームネットワーク用のミドルウェアとして、ホームネットワーク対応 AV 機器の仕様 HAVi、白物家電を制御するための規格 ECHONET、インフラ技術には、Bluetooth、電力線通信、無線 LAN などが存在する。

これらを元にしてホームネットワークを構築するためには、LegacyDevice を、ネットワーク接続機能を持つデジタル化されたネットワーク家電機器（情報家電機器）に買い換える必要がある。しかし、機器の連動動作などホームネットワークを利用した独自のサービスを実現するためには、TV・VTR などの AV 機器やエアコン・冷蔵庫などの白物家電の総入れ替えが必要となり、既存のホームネットワーク導入の際にかかるコストは高い。よって、ネットワーク接続機能や高度な情報処理能力を持たない家電機器である LegacyDevice は今後も家庭内に残る可能性が高いと考えられている。

LD をホームネットワークに組み込み情報家電機器と同様に扱う場合、LD の状態情報を取得することが必須である。状態情報とは、VTR であれば録画状態、TV であればチャンネル 1 などといったように、LD の現在の状態を表す情報のことである。LD の状態情報を正しく取得しなければ、利用者が望む状態に LD を制御することは不可能である。なぜなら、LD の制御に用いる赤外線信号による機器制御命令が、絶対的な動作指示を与えるものではなく、現在の機器の内部状態に対応する相対的な動作指示だからである。しかし、外部からの問い合わせに対して応答を返さない LD の状態を正しく取得することは困難であった。

1.2 研究目的

本研究の目的は、既存の家電機器である LD を用いたホームネットワークシステムを実現し、既存のホームネットワークと同等のサービスを提供するために、LD の状態の取得方法と LD をモデル化した状態機械の管理方法を構築することである。

本研究では、外部からの問い合わせに応じて状態情報などの応答を返さない LD の状態を取得するため、LD の映像・音声などのアナログ信号を用いる方法や、赤外線センサなどを用いた方法を提案する。図 1.1 に本研究で提案する状態取得システムのイメージを示す。

本研究で提案する手法で得られた状態情報に基づき，一つのLDを複数の部分状態機械から構成される複合状態機械としてモデル化を行い状態管理を行う．同様の機能を持つ複数のLDで部分状態機械を流用することで，LDのモデル化が容易となる．

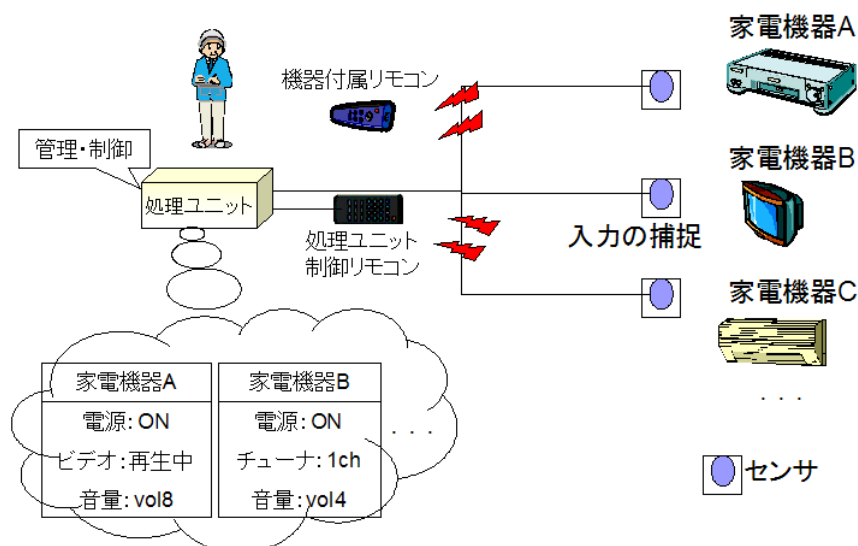


図 1.1: 状態取得管理システム概要

1.3 本論文の構成

本稿は以下の構成となっている．

- 第2章 現在提案されているホームネットワークをまとめる．
- 第3章 本研究で提案する LegacyDevice を用いたホームネットワークと，それを実現するシステムについて概要を説明する．
- 第4章 有限状態機械を用いた状態の管理方法を説明し，状態の管理方法と自動遷移表書き換えシーケンスの有効性について確認を行う．
- 第5章 機器の制御に用いる赤外線信号について説明し，センサを用いた状態の取得方法を説明する．そして状態取得方法について確認を行う．
- 第6章 本研究で提案するシステム及び設計について説明する．
- 第7章 本システム上に実装したアプリケーションの動作実験を行い評価を行う．
- 第8章 本研究について総括し，今後の課題について論じる．

第2章 ホームネットワーク

2.1 ホームネットワークとは

ホームネットワークとは、家電機器や住宅設備がインタラクティブに様々な情報をやり取りし、機器の連動動作といった機器資源の相互運用をはかることを主目的としたネットワークのことである。本章では、現在提案されている様々なホームネットワークの諸技術の現状を明らかにし、その特徴をまとめる。特に、機器の制御方法と機能の抽象化方法に着目し調査を行う。

2.2 ホームネットワーク規格

2.2.1 ECHONET

ECHONET は、エコーネットコンソーシアムが提唱している、家庭内の電灯線や無線を利用し、低コストかつ工事不要で既築住宅にも対応可能な信頼性の高いホームネットワーク環境や、マルチベンダ環境における相互運用などを実現するための仕様である。ECHONET では、遠隔からゲートウェイを介して機器の制御を行ったり ECHONET 内にあるコントローラから直接機器を制御することなどが可能である。

機能の抽象化

ECHONET が対象とする機器は多岐にわたっており、機器を部品化してオブジェクトの概念を取り入れることにより、明確に、かつ統一的に機器管理の実現を計っている。機器が保持する情報や制御項目を論理的にモデル化することで、マルチベンダ環境でも情報のやり取りが可能である ECHONET では、機器が他の機器に対して公開する情報およびアクセス手順を ECHONET オブジェクトとして規定しており、ECHONET オブジェクトの操作により制御や情報のやり取りが行われる。ECHONET オブジェクトは、以下の4つのオブジェクトに分類される。

- 機器オブジェクト
各々の機器が持つ情報や制御対象（オブジェクトプロパティ）やこれに対する操作方法を規定。

- プロファイルオブジェクト
動作状態やメーカー情報等を規定.
- サービスオブジェクト
ネットワークに対して公開する機能をモデル化したもの.
- 通信定義オブジェクト
状態通知や連携動作を規定.

以上のように，ECHONET では，機器の持つ機能を分類化し，機能ごとに提供するサービスを規定することで，各機器を資源として扱っている．

機器の制御

機器オブジェクト，サービスオブジェクトを制御することにより，機器の制御を実現する．

2.2.2 HAVi

HAVi は，ホームネットワークに対応した IEEE1394AV 機器のための仕様である．HAVi 対応の AV 機器は，高速なネットワークを通して相互に接続され，連携して動作させることができる．HAVi は，ホームネットワークで接続されたデジタル AV 機器を分散コンピューティングプラットフォームとみなし，この上で動作する分散アプリケーションが各々協調して動作するための環境と，異種メーカーの機器による相互接続・相互運用を実現するために，API のセットとミドルウェアから構成される．ミドルウェアには，機器がネットワークに接続された際に自動的に機器を認識し，必要なソフトウェアを自動インストールする機能や，異種メーカー間の機器を相互接続する機能などが備わっている．

機能の抽象化

HAVi では機器を，機器全体 (Device) と，機器に含まれる機能要素 (Functional Component) に区別して取り扱い，機能の抽象化を行っている．例えば VTR という機器では，Tuner と TapeRecorder という機能要素が含まれる．電源の ON/OFF は機器に対する制御であり，Tuner の選局やテープの再生は，それぞれの機能要素に対する制御となる．HAVi における制御とは，機器単位というよりは機能要素単位の制御が中心であり，AV 機器の中から必要な機能要素だけを組み合わせて利用することができる．

機器の制御

機器の制御は，コントローラ上のアプリケーションが対象となる機器に対して何らかの方法で制御命令(コマンド)を送信することで行う．しかし，このコマンドに対応していない機器や，メーカー独自の機能を組み入れたい場合には，AV/Cなどの標準のコマンドを使うことが不可能である．そこでHAViでは，機器固有の制御方法をカプセル化することで問題の解決を行っている．HAViのアプリケーションは，機器を制御するためのコマンドを直接機器に対して送信するのではなく，DCM/FCMに用意されたAPIを呼び出すことにより，機器及びそれに含まれる機能要素の制御を行うことができる．DCM(Device Control Module)とは，機器全体をモデル化したソフトウェアオブジェクトであり，FCM(Function Controle Module)とは，機能要素をモデル化したソフトウェアオブジェクトのことである．機器は1つのDCMを持ち，DCMにはその機器の機能要素の数に応じて複数個のFCMが含まれる．カプセル化は，DCMとFCMを，機器の制御を行うノード(HAViコントローラ)に各機器がアップロードすることにより，機器の制御方法を提供している．

2.2.3 AV/C

AV/C(Audio Video / Control) コマンドは，ネットワーク接続されたAV機器を遠隔から制御するためのコマンドセットである．AV/Cでは，機器を機能の集合体とみなしており，機器の持つ機能をSubUnitとして定義している．操作コマンドは各機能ごとに定義しており，主なコマンドとして以下の3種類が挙げられる．

- CONTROL コマンド
機器制御を行う
- STATUS コマンド
機器の状態を問い合わせる
- NOTIFY コマンド
機器の状態変更通知を要求する

2.2.4 X-10 プロトコル

X-10は，伝送媒体として電灯線を利用してネットワークに接続されたX-10対応機器を制御するための規格である．

機能の抽象化

X-10は，照明器具の明かりの調整や機器の電源の操作を主目的としており，その部分のみ抽象化を行っている．機器の持つ機能には，以下の3種類がある．機器の制御は，

- 電源制御機能
- 照度制御機能
- 通信制御機能

2.3 まとめ

本章では、現在提案されているホームネットワーク規格の機器の抽象化方法と制御方法に着目して考察を行った。現在提案されているホームネットワーク規格では、次のような機器の抽象化・制御方法を用いていた。

- 家電機器を複数の機能の集合体とみなし、各機能に対して制御命令を出すことで機器全体を制御する。
- 機能群の分類を行い、その機能群が提供するサービスやアクセス方法などを規定する。

本研究では、LegacyDevice を抽象化し機器資源として扱うために、機器の持つ機能ごとに定義した有限状態機械を用いて機器の抽象化を行う。これは、現在提案されているホームネットワーク規格と同様のモデル化手法であるが、LegacyDevice と情報家電機器が持つ基本的な機能が同様であることから、LD をホームネットワークに組み込む際に有効な手法であると考えられる。

第3章 LegacyDeviceホームネットワーク

LD ホームネットワークとは、LD を用いて実現するホームネットワークのことであり、LD を機器資源として利用し、LD 機器間での連動サービスなど情報家電機器と同様に LD を扱い、様々なサービスを実現することが可能である。

LD を用いたホームネットワークを実現する際、機器の動作が明確に定義されていない LD を情報家電機器と同様に扱うため、LD をモデル化を行い、電源の ON・OFF や TV のチャンネル番号といったような状態情報の管理を行う必要がある。状態情報とは、複数の機能の集合体とみなし機器の状態を示す情報のことであり、現在の機器の状態や、センサからの情報を表すのに用いられる。本研究では、LD を複数の機能の集合体とみなし、各機能を部分状態機械として考え、複数の部分状態機械からなる複合状態機械として LD のモデル化を行い、状態情報の管理を行う。

本研究では、リモコンからの赤外線信号を用いて LD の制御を行うが、赤外線信号による LD の制御は、現在の機器の状態に対応して行われる相対的な制御であり、現在の状態が不明な場合、所望の状態に機器を制御することは不可能である。例えば、VTR で「録画を行う」という制御を行う場合、現在の状態が「停止状態」であれば制御は正しく行われるが、「ポーズ状態」や「再生状態」のときは、一般に正しく制御されない。正しく制御を行うためには、その状態に応じた制御を適切に行えばよいが、LD は内部状態を外部に通知する機能を備えていないため、何らかの手段を用いて LD の内部状態を知る必要がある。本研究では観測関連デバイスを用いて機器の状態取得を行う。観測関連デバイスとは、機器の状態を観測するデバイスであり、センサ、フィルタ、カメラなどが含まれる。

有限状態機械を用いてモデル化された LD の状態情報に基づき、赤外線信号により制御を行い、様々なセンサやフィルタなどを用いて状態取得を行うことで、LD を機器資源として扱うことができ、既存のホームネットワークで実現可能なサービスが、LD を用いたホームネットワークでも実現可能となる。本章では、LD を用いたホームネットワークを実現可能するためのシステムの概要を示し、状態管理方法・状態制御取得方法の概要について説明する。

3.1 LegacyDevice とは

LD とは、ネットワーク接続機能を備えておらず、外部に自らの状態を通知する機能を持たない、といった制御上の特徴を持つ家電機器のことである。それに対して非 LD（ネットワーク・情報家電）が存在するが、機能付加による価格上昇により普及しているとは言えず、ユーザが使い慣れた機器に対するニーズもあり、LD は今後も家庭内に残る可能性が高いと考えられている。

3.1.1 LegacyDevice の分類

本研究で対象とする赤外線信号を用いて外部から制御が可能な LD を、AV 機器、白物家電、その他の 3 つのクラスに分類し、クラスごとに取得する状態情報および状態の検出を行うデバイスを図 3.1 に示す。LD は日本の家電メーカーのホームページを参照し赤外線

	LD	状態情報	検出デバイス
AV機器	TV, VTR, DVDplayer・recorder, CDplayer・recorder	ON・OFF, チャンネル数, 音量, 再生・停止・早送り・巻き戻し・頭出し, メディアの有無	IRセンサ, カメラ・マイク, AV 出力, 電力センサ, 照度センサ
白物家電	お風呂(温水器), エアコン・送風機, 換気扇, 加湿器	ON・OFF, 温度, 湿度, 風向き, 運転モード, 風量, 水量	IRセンサ, 温度センサ, 湿度センサ, 振動センサ, 電力センサ, 水位・水量センサ
その他	雨戸, カーテン, ブラインド, シャッター, ランプ・蛍光灯	ON・OFF, 温度, 傾斜, 開・閉	IRセンサ, 温度センサ, 照度センサ, 傾斜センサ, 紫外線センサ, 圧力センサ, 位置センサ, 電力センサ

図 3.1: LD の分類

本研究で対象とする機器は電気機器であるので、すべてのクラスの状態情報に電源の ON・OFF が含まれる。また、本研究では赤外線信号による制御が可能な機器を対象としており、すべてのクラスの検出デバイスに赤外線 (IR) センサが含まれる。

AV 機器クラスの制御は、3 つのクラスの中で最も複雑であり内部遷移を含む。内部遷移とは、電源の自動 OFF など機器内部で発生する状態遷移の事である。本研究では、内部遷移の発生を検知するセンサを設置して、内部遷移により発生するイベント（内部遷移イベント）を新たに定義し、内部遷移に対応する。

本研究で対象とする機器は、基本的に機器に対するすべての操作をリモコンで行えるため、IR センサのみで状態取得が可能である。よって、IR センサ以外の他の検出デバイスは、IR センサのリカバリの役割と内部遷移の発生を捕捉する役割を持つ。白物家電・その他クラスの状態情報には、AV 機器クラスと異なり湿度・温度などリモコンで直接制

御不可能な状態が含まれており，このような状態情報の観測を行うためには，状態情報ごとにセンサが必要になる．温度を測るための温度センサ，湿度を測るための湿度センサなどといったように，1つの状態情報の取得に1つのセンサが対応している．

クラスによって状態情報や検出デバイス数に違いがあることから，センサ導入の際には，どのクラスの機器からどのような状態を取得し制御するのか，といったことを利用シナリオとあわせて考える必要がある．例えば「室温に連動してエアコンを動作」の様なアプリケーションの場合，状態情報「温度」を観測する温度センサを導入すれば，室温の確認・エアコンの動作確認が行えるので，他のセンサを導入する必要はない．LD ホームネットワークでは，既存の機器とセンサを組み合わせることで実現可能なサービスによる利便性の向上と，センサを導入する際のコストを比較して，利用シーンにあわせた適切なセンサを利用者が選択することが重要である．

3.2 LegacyDevice ホームネットワークの実現

3.2.1 LegacyDevice の管理方法

本研究では，LD を有限状態機械としてとらえ，センサなどの観測関連デバイスで取得した状態情報を利用し，LD の内部状態を把握する．有限状態機械とは，状態遷移表や遷移図で表され，有限な状態を持ち何らかのトリガーとなるイベント受け取り状態遷移を行いながら動作するシステムのことである．LD を有限状態機械として捕らえ，センサからの情報をトリガーとみなし，状態遷移表に基づいて状態遷移を行うことで，機器の内部状態の変化を観測することができる．遷移を生じるさせるイベントには，リモコンでの LD の制御，ネットワーク経由での LD の制御，LD の連動動作，内部遷移などがある．

また機種やメーカーごとの状態遷移に関する依存性に対応するために，有限状態機械を表す状態遷移表を書き換える自動遷移表書換シーケンスを実行する．これによって，機種・メーカー依存性によらない制御が行えるようになる．

3.2.2 LegacyDevice の制御取得方法

本研究では，赤外線信号による制御が可能な家電機器を対象としており，それ以外の機器については，電源コントローラによる電源の ON/OFF など限定的な制御に限っている．家電機器に物理的な改造を施し，赤外線信号による制御が不可能な機器を制御することも可能ではあるが，ホームネットワークを導入する際の簡便性を考えるとあまり適切ではない．現在市販されている機器の多くが赤外線信号での制御が可能である点，1つのリモコンで複数台の装置を操作出来る点，コードが必要ないため部屋を広く使える点などからも赤外線信号による機器の制御が，最も適切な LD の制御方法であるといえる．

赤外線信号による機器制御では，何らかの原因で信号が妨げられ赤外線センサで信号を受信できなかった場合を考慮する必要がある．特に機器側のセンサとシステム内のセン

サ、どちらか一方でしか信号を受信出来なかった場合、現在の機器の内部状態と、システム内での機器の状態が乖離することとなり、正確な制御は不可能となる。また、電源の自動 OFF など機器内部で発生する内部遷移を捕捉することも不可能である。

本研究ではこれらの問題に対して、カメラセンサや湿度センサなど様々なセンサを IR センサとあわせて利用する「受動的状態取得方法」を利用して機器の内部状態を取得する。また、状態取得の際の機種やメーカーの依存性に対応するために、源信号に対して状態の識別を行うための識別用信号を付加する「能動的状態取得方法」も利用する。これらの方法を用いて、メーカー、機種によらない汎用的な状態取得を行う。

3.3 システム構成

図 3.2 に示すのが本研究で提案する LD ホームネットワークシステムである。システム内のデバイスは、被観測デバイスと観測関連デバイスに大別される。LD を状態機械を用いてモデル化を行い、観測関連デバイス（センサ）がリモコンによる被観測デバイス（LD）への制御命令や、温度など被観測デバイスの動作に関する情報を監視して、得られた情報を処理ユニットで処理し、被観測デバイスの内部状態を取得する。そして、取得した内部状態に基づき、処理ユニットで直接制御するリモコンを用いて機器の制御を行い、連動動作など様々なサービスを実現する。機器導入の際、1 から部分状態機械ごとの遷移表を作成するのではなく、あらかじめ定義した共通・メーカー別の状態遷移表を用いて、機種やメーカーの依存性に対応するための自動遷移表書換シーケンスを実行し、依存性を除去した機種別の遷移表を作成する。

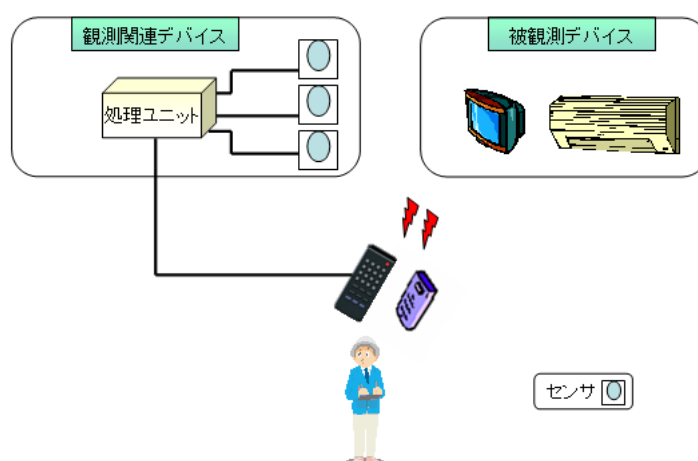


図 3.2: システム構成図

- 被観測デバイス
状態を観測されるデバイスであり，TV, カーテン, エアコンなどの LD が含まれる．
- 観測関連デバイス
状態を観測する関連デバイスであり，処理ユニット，フィルタ，センサなどが含まれる．状態の管理，信号の切り換え，アナログ信号の取得・処理などを行う．

3.3.1 処理ユニット

処理ユニットは，LD を用いたホームネットワークにおいてすべての中心となる機器であり，家庭内に唯一存在する．処理ユニットは，

- 機器情報の管理
- 機器制御の実行
- サービス情報の揭示
- LD に対する命令の捕捉
- センサの管理
- センサ情報の処理
- 他システムとの通信

などを行う．処理ユニット内に，機器の連動動作など高度なサービスを持たせることにより，機器の相互運用が可能となる．また，他センサと LD を組み合わせたサービスを実現することも可能である．

3.3.2 センサ

センサとは，一般的な定義として，実世界の温度や光などの物理量を電圧などの電気信号に変換するデバイスである．センサから得られるアナログ信号は，処理ユニットによって制御される A/D 変換器により A/D 変換を行い，得られたデジタル信号（センサ情報）を，処理ユニット上のデータベースを参照して変換処理を行うことで，LD の状態情報や，LD の制御に利用する情報を取得することができる．

センサ情報とは，センサで取得した電氣的な情報を，計算機で利用するために適切な形式に変換した後の情報のことである．本研究では，リモコンの赤外線信号を捕捉する赤外線センサや，室温を監視する温度センサ，湿度を監視する湿度センサなど複数のセンサを用いて様々な種類のセンサ情報を取得しており，状態情報とセンサ情報を対応付けることで，センサの違いを意識することなく，状態の管理が行えるようになる．

ホームネットワークにおいて，センサ情報を利用するためには，センサが何らかの形でネットワーク接続性を持つか，センサ情報を計算機に入力する手段を持つ必要がある．すべてのセンサに高度な機能を持たせるのは，コストの面から適切ではなく，本研究では，計算機上のデータベースでセンサ関連の情報を一元的に管理する．

第4章 状態管理方法

4.1 LegacyDevice のモデル化

4.1.1 有限状態機械

状態機械とは、イベントを受け取り、現在の状態に応じた動作を行い「次の状態」へ遷移する装置のことである。状態機械は、現在の状態とイベント（入力）、「次の状態」の関係を示す状態遷移表や遷移図に基づき、状態を遷移させる。状態機械は次のような5個の組で定式化する。

$$A=(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$$

- Q : 状態の集合
- Σ : 入力記号の集合
- δ : 遷移関数
- q_0 : 初期状態
- F : 最終状態

それに対してLDは、有限な状態を持ち、何らかの入力に対してある動作を実行するデバイスであり、LegacyDeviceを有限状態機械と考えることができる。

4.1.2 機能分割・細分化

LDを有限状態機械としてモデル化を行う場合、LDを一つの状態機械としてとらえると、VTRなど複数の機能を持つLDにおいて状態機械が複雑になってしまう。そこで、LDを複数の部分状態機械の集合体としてとらえ、複数の部分状態機械が並行して動作する状態機械としてモデル化を行う(図4.1)。これにより状態機械のモデル化が容易になり、同様の機能を持つ複数のLDで部分状態機械の流用が可能となる。本研究では、部分状態機械の状態を機器の持つ状態としてとらえ、部分状態機械が提供する機能を機器の持つ機能とすることで、各機器を機器資源として扱う。

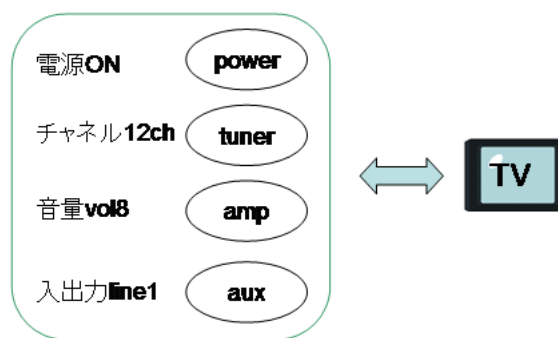


図 4.1: 部分状態機械

表 4.1 に代表的な機器と機器が持つ代表的な部分状態機械を示す．表にない機器についても部分状態機械を組み合わせることで，モデル化は可能である．例えば，複数の機能が組み合わさっているテレビデオのような機器は，複数の機器（TV と VTR）が組み合わさって構成されていると考え，両方の機器の部分状態機械をすべて保持する機器としてモデル化を行う．テレビデオの場合，TV と VTR が組み合わさって構成されていると考えるので，保持する部分状態機械は，power/tuner/amp/aux/player・recorder/となる．また，ラジオやコンポなどオーディオ機器は，power/amp/aux などから構成されると考える．

appliance	部分状態機械
TV	power/tuner/amp/aux/
VTR	power/tuner/amp/aux/player・recorder/
DVDplayer	power/tuner/amp/aux/player・recorder/
DVDrecorder	power/tuner/amp/aux/player・recorder/
CDplayer	power/tuner/amp/aux/player・recorder/
CDrecorder	power/tuner/amp/aux/player・recorder/
エアコン	power/temp/humid/mode_drive/mode_angle/mode_wind/
送風機	power/temp/humid/mode_drive/mode_angle/mode_wind/
換気扇	power/temp/humid/mode_drive/mode_angle/mode_wind/
加湿器	power/temp/humid/mode_drive/mode_angle/mode_wind/
雨戸	power/open_close/illumination
カーテン	power/open_close/illumination
ブラインド	power/open_close/illumination
シャッター	power/open_close/illumination
ランプ・蛍光灯	power/illumination
電気ポット	power/

表 4.1: 機器と対応する部分状態機械

表 4.2 に部分状態機械の機能と，部分状態機械が保持する状態例および状態取得に利用するセンサを示し，各部分状態機械が機器資源として提供するサービスを明確にしておく．なお，player/recorder 部分状態機械は，基本的な機能のみ提供しており，DVDplayer・recorder や CDrecoder などのメニュー操作，チャプター操作などには対応していない．各部分状態機械に対する入力の種類は，表 4.3～表 4.12 に示す通りである．

部分状態機械	機能の説明	状態	センサ
power	機器の電源を管理	ソフト電源 on・off，ハード電源 off	camera/current/ir/noise
tuner	チャンネルを管理	チャンネル (1ch～63ch)	camera/ir/noise
amp	音声出力の大きさを管理	音量 (vol0～vol40)	camera/ir/noise
aux	ライン入力を管理	ライン (line0～line5)	camera/ir/noise
player/recorder	player/recorder の基本機能を管理	再生，録画，停止，早送り，頭出し早送り，巻き戻し，頭出し巻き戻し，一時停止	camera/ir
open_close	ドアやシャッターの開閉を管理	開閉	open_close/ir
mode_angle	風向きを管理	風向きレベル (auto/非 auto, 上中下/左中央右/スイング/)	wind/ir
mode_drive	運転モードを管理	運転モード (自動/暖房/冷蔵/除湿/送風/)	wind/ir
mode_wind	風量を管理	風量レベル 4 段階	wind/ir
humid	湿度値を管理	湿度レベル 4 段階	humid/ir
illumination	照度値を管理	照度レベル 4 段階	illumination/ir
temp	温度値を管理	温度レベル (0～50 度)	temp/ir

表 4.2: 部分状態機械の種類

入力記号	意味
POWER	ソフト電源切替
LINK	ハード電源 ON
UN_LINK	ハード電源 OFF

表 4.3: 部分状態機械 (POWER) に対する入力信号

入力記号	意味
PLAY	再生
STOP	停止
REW	巻き戻し
FF	早送り
REC	録画
PAUSE	一時停止
ACTION	内部遷移 (動作の終了)
MEDIA	内部遷移 (メディアの制限)
TIME	内部遷移 (タイムアウト)
EXCEPTION	内部遷移 (例外制御)

表 4.4: 部分状態機械 (PLAYER/RECORDER) に対する入力信号

入力記号	意味
LINE	ライン入力切替 (トグル)
LINE0 ~ LINE3	ライン入力切替
EXCEPTION	内部遷移 (例外制御)

表 4.5: 部分状態機械 (AUX) に対する入力信号

入力記号	意味
CH0 ~ CH12	チャンネル切替
CHUP , CHDOWN	チャンネル切替
EXCEPTION	内部遷移 (例外制御)

表 4.6: 部分状態機械 (TUNER) に対する入力信号

入力記号	意味
OPEN	開く
CLOSE	閉じる

表 4.7: 部分状態機械 (OPEN_CLOSE) に対する入力信号

入力記号	意味
VOLUP	音量を上げる
VOLDOWN	音量を下げる
EXCEPTION	内部遷移 (例外制御)

表 4.8: 部分状態機械 (AMP) に対する入力信号

入力記号	意味
HUMID1 ~ HUMID5	除湿モードの切替
HUMIDUP	除湿モードの切替（トグル上）
HUMIDDOWN	除湿モードの切替（トグル下）

表 4.9: 部分状態機械 (ENVIRONMENT_HUMID) に対する入力信号

入力記号	意味
ILLUMINATION1 ~ ILLUMINATION4	照度の切替
ILLUMINATIONUP	照度の切替（トグル上）
ILLUMINATIONDOWN	照度の切替（トグル下）

表 4.10: 部分状態機械 (ENVIRONMENT_ILLUMINATION) に対する入力信号

入力記号	意味
CHANGEDRIVE	運転モードの切替
CHANGEWDIR	風向きの切替
CHANGEWIND	風量の切替

表 4.11: 部分状態機械 (DRIVE , WDIR , WIND) に対する入力信号

入力記号	意味
TEMP0 ~ TEMP50	温度の切替
TEMPUP	温度の切替（トグル上）
TEMPDOWN	温度の切替（トグル下）

表 4.12: 部分状態機械 (ENVIRONMENT_TEMP) に対する入力信号

4.2 状態遷移表の作成

機器の内部状態を反映した有限状態機械は、状態遷移表で表される。状態遷移表とは、入力と状態の組み合わせ、そのときの状態の遷移先を示す表であり、入力と内部状態の組み合わせが漏れなく記述できる。本研究では、状態遷移表を用いて LD の動作を漏れなく明確に定義して、赤外線信号などを入力として扱い機器の内部状態を取得する。状態遷移表は、機器導入の際に人手で作成するのではなく、あらかじめ作成した状態遷移表を利用する。

状態遷移表を作成する際に問題となるのが、機種やメーカーの状態遷移に関する依存性である。LegacyDevice には様々なメーカー・様々な機種が存在し、メーカー・機種ごとに入力に対する状態の遷移先は異なるので、すべての機種・メーカーで共通の遷移表を用いても、入力に対する遷移先を正しく決定することはできない。また、人手で機種ごとに一から遷移表を作成するのも、対象機種の状態・入力・遷移先をすべて調べる必要があり、非常に手間がかかり現実的ではない。

本研究では、一般的・メーカー別・機種別の依存性に対応した 3 種類の遷移表をあらかじめ定義、または自動遷移表書き換えシーケンスの実行により自動的に遷移表を書き換えることで、機器導入の際の労力を軽減する。一般的な遷移表は、すべてのメーカー・機種で共通の遷移部分を抽出した表である。この表を用いて機器制御を行う場合、メーカー・機種依存性を持つ命令は正しく実行できない。メーカー別遷移表は、特定のメーカーで共通の遷移を示す部分を抽出し作成した遷移表である。この表を用いて機器制御を行う場合、メーカー依存性を持つ命令は正しく実行できるが、機種依存性を持つ命令は正しく実行できない。機種別遷移表は、特定の機種に限って作成した表であり、自動遷移表書き換えシーケンスの実行により作成するか直接人手で作成する。この表を用いて機器制御を行う場合、状態機械で定義されているすべての命令が正しく実行可能である。

状態遷移表の種類ごとに、依存性の箇所数は異なり、依存性を持つ箇所が多いほど遷移表の書き換えにかかる時間は増大する。一般的な遷移表から機種別遷移表を作成する場合、多くの箇所を再定義する必要があるが、メーカー別遷移表から機種別遷移表を作成する場合は、より少ない再定義ですむ。あらかじめ状態遷移表を一般的・メーカー別など共通の依存性を持つグループごとに定義しておくことで、遷移表を作成する際の手間を省き、再定義箇所を少なくして遷移表書き換え時の時間を短縮することが可能となる。

3 種類ある表の初期選択は以下の様に行う。

- 既に登録されている機器 → 機種別遷移表
- メーカー名が判明 → メーカー別遷移表
- 上記以外 → 一般的な遷移表

4.2.1 自動遷移表書換シーケンス

自動遷移表書換シーケンスは，機器導入の際に実行し，一般的・メーカー別状態遷移表の依存性箇所を，赤外線リモコンの制御により発生したイベントによる状態機械の遷移をセンサで監視して，センサからの状態情報を元に遷移表を再定義する．処理ユニットで制御されるリモコンを用いて自動的にイベントを発生させ，センサから得られた状態情報に基づいて自動的に遷移表の再定義を行っているため，人手で直接遷移表を書き換える必要はない．カメラセンサなど絶対的に機器の状態を取得するセンサが存在しない場合は，状態の確認のみユーザが行い，依存箇所への機器制御は自動で行う半自動化方法をとる．自動遷移表書換シーケンスを実行を行う際，機器の持つ初期状態，またはシステム側で設定した状態から依存性箇所への遷移を開始する必要がある．何らかの手法を用いて，実機の状態と部分状態機械の状態を合致させる必要がある．本研究では，機器の状態と部分状態機械の状態を合致させる処理を人手で行うこととする．

自動遷移表書換シーケンスは，player/recoder, power, aux, amp, tuner などほとんどの状態機械に適用される．power 部分状態機械では，ハード電源 OFF から ON などの遷移に関する依存性があり，他の部分状態機械についても，ライン数や音量の範囲などの状態に関する依存性が存在する．これら 2 種類の依存性を自動遷移表書換シーケンスの実行により除去する場合，調べる状態が多くなり時間がかかることも考えられる．よって，機器の持つ状態に関する依存性については，一般的な遷移表でカバーしない範囲については対応しない，機器の初期化時に部分状態機械が保持する状態を人手で設定して遷移表を書き換えるなどが考えられる．また，カメラセンサなどで状態取得が不可能な状態についても人が対応する．

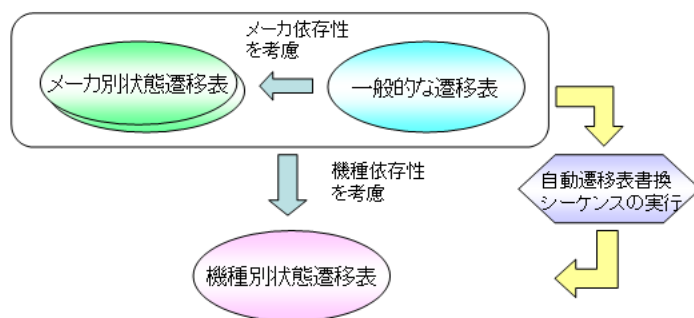


図 4.2: 遷移表作成の流れ

4.2.2 aux-tuner への対応

tuner 部分状態機械と aux 部分状態機械の間には強い関係性があり，tuner 部分状態機械のイベントである ch-up と ch-down を用いて aux の状態を遷移させることが可能な機種が存在する．また，ある機種ではチャンネルの持つ状態が 1 ～ 12ch であった場合に，状態が 12ch でイベント ch-up を入力すると 1ch に戻るといったような状態遷移を行う．よって，部分状態機械 tuner, aux 単体で独立して動作している機種と，tuner, aux で強い関係性を持って動作している機種を区別して考える必要がある．前者の場合，通常の遷移表を用いて対処することができるが，後者の場合は tuner 部分状態機械と aux を組み合わせて考える必要がある．以下に部分状態機械 aux(ex. line0 ～ line1) と tuner(ex. 1 ～ 12ch) を組み合わせた遷移表を示す．若干複雑な遷移表になっているが，以下の表を用いることで，部分状態機械 aux と tuner を統合的に扱うことが可能である．また，下記の表においても状態と遷移に関する依存性は存在するので，書換シーケンスの実行などは必要である．

状態 \ 入力	ch-x	line-x	ch-up	ch-down	line	pow	τ (exception)
1	ch-x	line-x	2	line1	line0	off_ch1	1
2	ch-x	line-x	3	1	line0	off_ch2	1
3	ch-x	line-x	4	2	line0	off_ch3	1
...	...	...	...	...	...	...	...
11	ch-x	line-x	12	10	line0	off_ch11	1
12	ch-x	line-x	line0	11	line0	off_ch12	1
line0	ch-x	line-x	line1	12	line1	off_line0	line0
line1	ch-x	line-x	1	line0	line0	off_line1	line0
off_ch1	off_ch1	off_ch1	off_ch1	off_ch1	off_ch1	ch1	
off_ch2	off_ch2	off_ch2	off_ch2	off_ch2	off_ch2	ch2	
off_ch3	off_ch3	off_ch3	off_ch3	off_ch3	off_ch3	ch3	
...	...	...	...	...	...	...	
off_ch11	off_ch11	off_ch11	off_ch11	off_ch11	off_ch11	ch11	
off_ch12	off_ch12	off_ch12	off_ch12	off_ch12	off_ch12	ch12	
off_line0	off_line0	off_line0	off_line0	off_line0	off_line0	line0	
off_line1	off_line1	off_line1	off_line1	off_line1	off_line1	line1	

表 4.13: aux-tuner 状態遷移表

4.3 イベント

イベントとは、部分状態機械の状態を遷移させる際のきっかけとなる様々な出来事のことである。赤外線信号による外部制御や内部遷移イベントの発生条件などをトリガとして「イベント」が発生して、現在の状態に応じた「動作」を行い、状態遷移表で定める「次の状態」に遷移する。本研究では、状態遷移を起こすイベントを通常イベントと内部遷移イベントの2種類に大別する。

4.3.1 通常イベント

通常イベントとは、赤外線センサや温度センサ、湿度センサなど様々なセンサから得た情報を元にして生じるイベントである。センサからの情報をきっかけにして通常イベントが生じ、通常イベントにより状態遷移が生じる。

4.3.2 内部遷移イベント

内部遷移イベントとは、内部状態や命令が、「内部遷移イベント発生条件」に該当した場合に生じるイベントであり、action・media・time・exceptionの4種類が存在する。内部遷移イベント発生条件とは、内部遷移イベントが発生する際の部分状態機械の状態や制御内容などを定めた条件のことである。表4.14に内部遷移イベント発生条件と動作及び内部遷移イベントによって遷移をおこす部分状態機械を示す。

内部遷移

内部遷移とは、VTRの早送り、テープ切れ、録画、電源自動オフなど何らかのタイムアウト動作を伴う機器内部で自動的に発生する状態遷移と、メニュー操作など例外制御時の遷移のことである。内部遷移は、赤外線信号による制御に基づく内部状態の遷移とは異なり、LDが自らの状態を自発的に遷移する。よって、赤外線信号を捕捉してもその発生を観測することは不可能である。また、例外制御は、赤外線信号を捕捉してもどのような制御が行われたのか理解できないので適切な遷移は行えない。

本研究では、部分状態機械がPLAYやPLAY-FFなど内部遷移を伴う状態であるとき、カメラセンサなど内部遷移の発生を捕捉可能なセンサを利用して、内部遷移イベント発生条件に関係した状態の監視を行い、発生条件に合致した場合に内部遷移イベントを発生させる。内部遷移イベントを赤外線信号の捕捉などによる通常イベントと同様に、状態遷移表を用いて扱い、機器の内部状態の管理を行う。内部遷移を例外扱いするのではなく、通常の遷移と同様に状態機械を用いて統一的に扱うことで、状態の管理が容易になる。

イベント	内部遷移イベント発生条件	動作	部分状態機械
τ (action)	機器に対する制御が断続的に続く場合に維持される状態 (play-rew, play-ff) であるとき, 赤外線による制御が停止された場合	制御前の状態に状態に遷移	PLAYER/RECORDER
τ (media)	状態をある時間維持した場合に, 一度だけ必ず遷移するような状態 (play, REW, FF, rec,) であるとき, メディアの始まり・終わりに到達した場合	stop, REW などの状態に遷移する	PLAYER/RECORDER
τ (time)	一定時間新たなイベントが発生しない場合	電源 OFF	機器の持つすべての状態機械
τ (exception)	メニュー操作などの例外制御が外部リモコンにより発生した後, 処理ユニット制御リモコンを使用した時など	部分状態機械を指定状態に遷移	機器の持つすべての状態機械

表 4.14: 内部遷移イベント発生条件

4.4 イベントの実行

4.4.1 電源への対応

機器の電源が入っておらず、機器側で電源以外の制御が行われない場合にも、人間のリモコンの操作ミスなどにより、赤外線信号が発せられる可能性がある。センサは、機器制御が正常に行われたかどうかにかかわらず、受信した信号に基づいてイベントを発生させるので、そのイベントをトリガとして状態遷移を行った場合、実機の状態と部分状態機械の状態が一致なくなってしまう。実機の状態を機能ごとにモデル化した部分状態機械と、実際の機器の状態が合致しない場合、正しい制御は行えない。

本研究では、部分状態機械に電源 ON 状態と電源 OFF 状態を定義し、電源 OFF 状態での機器制御により発生したイベントは全て無視し、「電源 OFF 状態」を別な状態に遷移させるイベントを「power」に限定することで上記の様な問題に対応する。機器の電源 OFF に伴って各部分状態機械を電源 OFF 状態に遷移させ、power 以外のイベントをすべて無視し、リモコンの誤動作などによって発生したイベントで状態が遷移することを防ぐ。

機器は、電源を OFF にする際に OFF にする前の状態を記憶し、ON にしたときに記憶している状態に戻るといった動作を行う。例えば、一般に TV のチャンネルは電源を消しても初期化されることはなく、前に選択したチャンネルがそのまま表示される。このような機器の動作を、機器をモデル化した状態機械でも行う必要がある。本研究では、電源部分状態機械と player/recorder 部分状態機械を除く部分状態機械の状態に、電源 ON 状態と、電源 ON 時の状態情報を含んだ電源 OFF 状態の 2 種類を定義し、前の状態を保持する。player/recorder 部分状態機械は、電源 OFF 時に状態がリセットされるため、このような状態を持つ必要はない。例えば、AMP 部分状態機械が $\text{vol8}(\text{state_vol8})$ のときに、電源部分状態機械がオフになると、AMP 部分状態機械は、 state_off_vol8 という vol8 での電源 OFF 状態に遷移する。そして、電源部分状態機械を ON すると、vol8 での電源 ON 状態 (state_vol8) に戻る。このようにして、前の状態を保持している。

機器が 4 種類の部分状態機械を持ち、機器の電源を ON から OFF にする際の、各部分状態機械の遷移を図 4.3 に示す。まず、リモコンからの赤外線信号を赤外線センサで受信し、その信号に基づいて発生したイベント power をトリガとして、power 部分状態機械が OFF 状態に遷移し、機器が持つすべての部分状態機械も電源 OFF 状態に遷移する。

機器の電源には、リモコンなどの電源操作によって状態が遷移するソフト電源と、機器側スイッチの電源操作によって状態が遷移するハード電源の 2 種類が存在する。今まで論じてきた電源 OFF はソフト電源に関わるものであり、ハード電源を考慮していない。本研究では両電源を、power 部分状態機械を用いて 1 つの部分状態機械として定義する。power 部分状態機械は、電源 ON 状態 (pow-on) と電源 OFF 状態 (pow-off) 及び電源カット状態 (cut) を持つ。機器の電源が ON のとき、ソフト電源は電源 ON 状態であり、赤外線の制御などソフトスイッチの操作よりソフト電源 ON 状態からソフト電源 OFF 状態となり、ハードスイッチの操作によりソフト電源 OFF 状態からハード電源 OFF 状態に遷移する。両電源とも電源 OFF 時には、電源関連イベント以外のイベントを無視する点は一

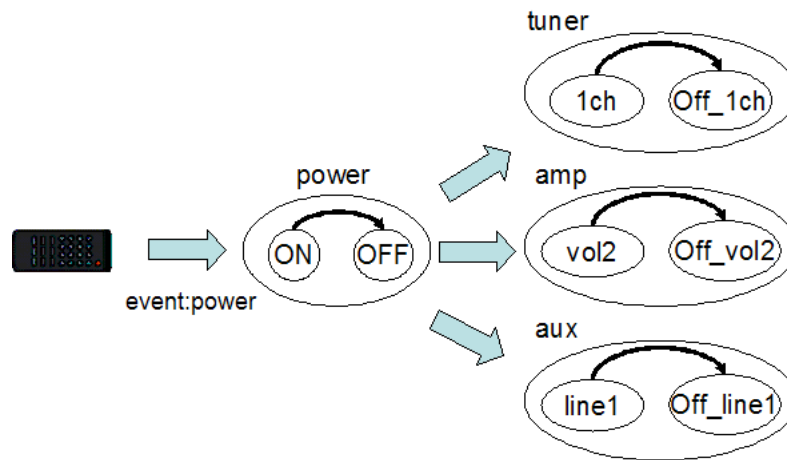


図 4.3: 電源 OFF 時の状態遷移

一般的には変わらない。また，ハード電源では一般的に電源 OFF 時に前の状態はリセットされるので，ソフト電源のように前の状態を記憶しておく必要はなく，電源 ON 状態を定義する必要はない。

機種によっては，ハードスイッチを OFF から ON にするとソフトスイッチが ON になる場合やソフト電源 OFF でも一部操作が可能な場合も例外的に存在するため，このような場合，自動遷移表書き換えシーケンスを実行するか，直接遷移表を書き換えて対応する。

4.4.2 例外制御への対応

本研究で対象外とする制御命令には，メニュー操作，予約録画，タイマー設定などが存在する。これらの制御命令は，機器によってその操作体系などが大きく異なるため，状態機械を用いてモデル化を行い，内部状態を捕捉するのは困難である。しかし，現にメニュー操作などにより実機に対して制御が行われており，タイマー設定などにより機器の電源が OFF になっている可能性や，予約録画により録画状態になっている可能性がある。本研究では，電力センサやカメラセンサ，内部遷移イベント exception を利用して，機器の状態を直接取得する，またはリカバリ設定状態に機器を遷移させるなどしてこれらの例外制御に対応する。

例外制御が発生した場合，まず電力センサを用いて，POWER 部分状態機械の状態を取得し，取得した電源部分状態機械の状態に応じて，電源 ON などの制御を行い機器の状態を電源 ON 状態に遷移し，機器の状態を制御取得・可能な状態にした上で，カメラセンサなどを用いて各部分状態機械の状態を取得する。これによって，メニュー操作などにより変更が加えられた部分状態機械の状態が取得可能となる。電源 OFF 時に発生した例外制御により実機の状態が変化する場合も考えられるが，電源の ON/OFF に関係なくセンサで例外制御の発生を観測することは可能である。また，例外制御には時間を空けて制御

が行われるものもあり，例外制御の発生時だけではなく，一定時間間隔もしくは通常イベントで遷移を行う前に観測を行うことも必要と考えられる．

カメラセンサなどが存在しなかった場合やカメラセンサで情報が取得できなかった場合は，内部遷移イベント発生条件に基づき，内部遷移イベント exception を発生させ，部分状態機械の状態を設定した状態（リカバリ設定状態）に遷移させて，実機の状態と部分状態機械の状態を乖離を解消する．内部遷移発生条件として考えられるのが次の2つであり，利用者側で選択を行う．

- a. 例外制御発生後，通常イベントを捕捉したときにイベントを発行する．
- b. 例外制御発生後，処理ユニット制御リモコンを使用するときにイベントを発行する．

a の場合，例外制御を行った後すぐにリカバリ設定状態に遷移するため人に与える影響は大きい，状態の乖離をいち早く解消することができる．b の場合は，例外制御発生後もリカバリ設定状態に遷移が生じることがないため，人に与える影響は少ないが，処理ユニット制御リモコンが使用されなかった場合，いつまでも乖離が発生していることになり，それによって，誤った状態でサービスが実行されてしまう状況などが考えられる．

例外制御の発生とその対応例を下記に示す．

1. ユーザ A が機器付属の外部リモコンを制御し，メニュー操作を行う．（例外制御の発生）
2. ユーザ B が外部から録画命令を送信する（処理ユニット制御リモコンの制御）
3. 上記の操作が「例外制御後の通常イベントの発生」という内部遷移イベント発生条件に合致したため，内部遷移イベント exception を発生させ，赤外線リモコンの操作により各部分状態機械の状態を設定した状態に遷移させる．

上記のシナリオにおいて電源タイマーなどによって電源が落ちている場合は，電源を ON にした上で各部分状態機械を設定した状態に遷移させる．電源の状態は電源センサを用いて監視する．また，AMP 部分状態機械は絶対的な状態指定が行えないため，現在の状態を最大状態として，最大状態から最低状態に遷移するまでに必要な制御を行う．

部分状態機械	リカバリ設定状態
player/recorder	stop
amp	vol0
aux	line0
tuner	ch1

表 4.15: 例外制御時のリカバリ設定状態例

リカバリー処理

ハード側での機器操作や何らかの障害などにより発生した状態遷移は、カメラセンサや電力センサなどを用いて機器の状態を常に観測していなければ、その発生を捕捉することは不可能であり、それにより実機と部分状態機械の状態が乖離してしまう。このような問題への対応として、乖離の発生に人が気づいたら内部遷移イベント exception を発生させて、リカバリ設定状態に機器を遷移させる方法が考えられる。乖離の発生の捕捉を人手で行い、後の処理は、内部遷移イベント exception に基づいて自動的に行われるので、人が実機の状態と部分状態機械の状態を合致させるような操作を行う必要はなく、手間をかけずに状態を合致させることができる。この方法では、センサの役割を人が担っているため、遠隔地など直接機器の状態が確認できない状況では、このような障害に対応することが出来ない。しかし、現在リモコンによる制御が機器の主な制御方法となっていることから、このようなリカバリー処理が必要になる状況は少ないと考えられる。もう一つの方法として、通常イベントの発生の前に必ず内部遷移イベント exception を発生させることも考えられるが、影響が大きく現実的ではない。

4.4.3 部分状態機械の選択

カメラセンサなどで発生したイベントは，amp 部分状態機械に対するもの，tuner 部分状態機械に対するものなど，複数の部分状態のイベントが含まれており，入力信号を適切な部分状態機械に選択を行う機能が必要になる．本研究では，センサなどからの入力イベントに従って，適切な部分状態機械に対してイベントを発生させる selector 機能を定義し，入力先を決定する．

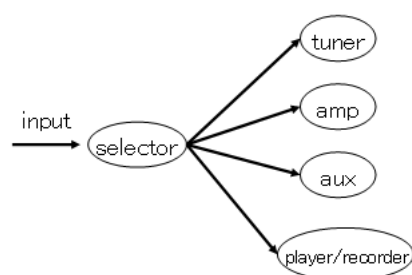


図 4.4: 部分状態機械の関係

イベント	イベント発生条件	動作	部分状態機械
AMP 関連イベント	設定した AMP 関連イベントの発生	イベントによる	AMP
AUX 関連イベント	設定した AUX 関連イベントの発生	イベントによる	AUX
TUNER 関連イベント	設定した TUNER 関連イベントの発生	イベントによる	TUNER
PLAYER/RECORDER 関連イベント	設定した PLAYER/RECORDER 関連イベントの発生	イベントによる	PLAYER/RECORDER
power 関連イベント	設定した power 関連イベントの発生	イベントによる	power

表 4.16: selector

4.5 状態管理方法の確認

4.5.1 状態遷移

赤外線リモコンで機器制御を行い，機器の機能をモデル化した部分状態機械の状態が，イベントに対して正しく遷移して，実機の状態と一致しているかどうか目視で確認を行った．この測定の目的は，本研究のモデル化手法を用いて機器の内部状態が正しく捕捉できるかどうかの確認である．

測定は，レガシーデバイスの状態変化が発生するたびに，処理ユニットにその情報を表示させ，イベントと状態を総当たりで検証を行った．理想的にはシステムの全状態に対しあらゆる入力を実際に与えてみなければならないが，あらゆる状態を想定するのは困難であり，部分状態機械がそれぞれ完全に独立に動くようにして確認を行う．

内部遷移イベントは，機器の内部遷移の発生を目視で確認し，手動にてイベントを発生させた．例外制御を「メニュー操作」とし，例外制御後，通常イベントを捕捉したときを条件としてイベントを発行した．対象機器は最も複雑な部分状態機械 player/recorder を持つ VTR(panasonic:NV-F600) で実験を行った．テストを行った部分状態機械は power/amp/player・recorder/aux である．ライン入力は 2 系統，ボリュームの範囲は 0～20 とし状態遷移表は個別に作成した．イベントが発生したときの部分状態機械の状態を下記に示す．

状態	入力	遷移後の状態
0	vol-up	1
1		2
2		3
...		...
19		20
20		20
0	vol-down	0
1		1
2		2
...		...
19		18
20		19
off_vol0	vol-up	off_vol0
off_vol1		off_vol1
off_vol2		off_vol2
...		...
off_vol19		off_vol19
off_vol20		off_vol20
off_vol0	vol-down	off_vol0
off_vol1		off_vol1
off_vol2		off_vol2
...		...
off_vol19		off_vol19
off_vol20		off_vol20
0	pow	off_vol0
1		off_vol1
2		off_vol2
...		...
19		off_vol19
20		off_vol20
off_vol0		0
off_vol1		1
off_vol2		2
...		...
off_vol19		19
off_vol20		20
0	τ (time)	off_vol0
1		off_vol1
2		off_vol2
...		...
19		off_vol19
20		off_vol20
0	τ (Exception)	0
1		0
2		0
...		0
19		0
20		0

図 4.5: 部分状態機械 - amp

状態	入力	遷移後の状態
stop	pow	off
play		off
rew		off
ff		off
re c		off
re c-pause		off
play-pause		off
off		stop
stop	play	play
play		play
rew		play
ff		play
re c		re c
re c-pause		play-pause
play-pause		play
off		off
stop	rew	ff
play		play-ff
rew		ff
ff		play-ff
re c		re c
re c-pause		re c-pause
play-pause		play-pasue-ff
off		off
stop	stop	stop
play		stop
rew		stop
ff		stop
re c		stop
re c-pause		stop
play-pause		stop
off		off
stop	re c	re c
play		play
rew		rew
ff		ff
re c		re c
re c-pause		re c-pause
play-pause		re c-pause
off		off
stop	pause	stop
play		play-pause
rew		rew
ff		ff
re c		re c-pause
re c-pause		re c
play-pause		play
off		off

図 4.6: 部分状態機械 - player/recorder(1)

状態	入力	遷移後の状態
play-rew	τ (action)	play
play-ff		play
play-pause-rew		play-pause
play-pasue-ff		play-pause
play	τ (media)	stop
rew		stop
play-rew		stop
ff		stop
play-ff		stop
re c		stop
play-pause-rew		stop
play-pasue-ff		stop
stop	τ (time)	off
re c-pause		stop
play-pause		stop
stop	τ (Exception)	stop
play		stop
rew		stop
play-rew		stop
ff		stop
play-ff		stop
re c		stop
re c-pause		stop
play-pause		stop
play-pause-rew		stop
play-pasue-ff		stop

図 4.7: 部分状態機械 - player/recorder(2)

状態	入力	遷移後の状態
line0	line	line1
line1		line0
line0	line0	line0
line1		line0
line0	line1	line1
line1		line1
off_line0	line	off_line0
off_line1		off_line1
off_line0	line0	off_line0
off_line1		off_line1
off_line0	line1	off_line0
off_line1		off_line1
line0	τ (time)	off_line0
line1		off_line1
line0	τ (Exception)	line0
line1		line0

図 4.8: 部分状態機械 - aux

状態	入力	遷移後の状態
pow-on	pow	pow-off
pow-off		pow-on
cut		cut
pow-on		cut
pow-off	pow-link	cut
cut		pow-off
pow-on	τ (time)	pow-off

図 4.9: 部分状態機械 - power

測定の結果，状態遷移表に基づいてすべて正常に遷移が行われ，実機の状態を捕捉し続けることが確認できた．電源 OFF 時に power 関係以外の制御を行った場合，制御をトリガとして発生したイベントはすべて無視され，実機の状態と状態機械の状態が乖離することとはなかった．また，機器内部で発生する内部遷移を内部遷移イベントと対応づけることで，機器の外部制御と内部遷移を状態機械で差異なく扱う事ができた．また，例外制御を行った場合，イベント exception が条件に従って発生し，設定した状態に遷移することが確認できた．

4.5.2 自動遷移表書換シーケンス

実機を対象として自動遷移表書換シーケンスを実行し、遷移表が適切に書き換えられるか確認を行った。対象部分状態機械は、状態遷移が最も複雑であり機種ごとの依存性も強い player/recorder とする。対象機種およびメーカーを表 4.17 に示す。

メーカー	機種
sony	DSR-20
	DSR-30
Panasonic	NV-DV10000
	NV-F600

表 4.17: 実験対象

内部遷移イベントは、機器の内部遷移の発生を目視で確認し手動にてイベントを発生させた。例外制御を「メニュー操作」制御とし、例外制御後、通常イベントを捕捉したときにイベントを発行した。

実験手順は以下の通りである。手順 2 と 4 の実機と部分状態機械の状態の確認は目視にて行った。

1. 人手でメーカー別遷移表を作成する。
2. メーカー別遷移表を用いて、イベントに対して状態が正しく遷移しているかどうかを確認する。
3. 自動遷移表書換シーケンスを実行して、機種別遷移表を作成する。
4. 作成した機種別遷移表を使い、イベントに対して状態が正しく遷移しているかどうかを確認する。

メーカー別遷移表の作成&制御確認

同一メーカーの異なる機種では遷移表の違いは見られず、同じ挙動を示した。異なるメーカー間では、ポーズ関連の挙動 (rec-pause, play-pause) について違いがみられたが、基本的な遷移は共通であり、メーカー間で共通の遷移表（一般的な遷移表）を利用し制御することも可能と考えられる。表 4.18 ~ 4.21 に各メーカーごとのメーカー別遷移表を示す。

状態 \ 入力	pow	play	rew	ff	stop	rec	pause
stop	off	play	rew	ff	stop	rec	stop
play	off	play	play-rew	play-ff	stop	play	play-pause
rew	off	play	play-rew	ff	stop	rew	rew
play-rew							
ff	off	play	rew	play-ff	stop	ff	ff
play-ff							
rec	off	rec	rec	rec	stop	rec	rec-pause
rec-pause	off	play-pause	rec-pause	rec-pause	stop	rec-pause	rec
play-pause	off	play	play-pause-rew	play-pasue-ff	stop	rec-pause	play
play-pause-rew							
play-pasue-ff							
off	stop	off	off	off	off	off	off

表 4.18: player/recorder 部分状態機械 - sony 共通 (1)

τ (action)	τ (media)	τ (time)	τ (exception)
		off	stop
	stop		stop
	stop		stop
play	stop		stop
	stop		stop
play	stop		stop
	stop		stop
		stop	stop
		stop	stop
play-pause	stop		stop
play-pause	stop		stop

表 4.19: player/recorder - sony 共通 (2)

状態 \ 入力	pow	play	rew	ff	stop	rec	pause
stop	off	play	rew	ff	stop	rec	stop
play	off	play	play-rew	play-ff	stop	play	play-pause
rew	off	play	play-rew	ff	stop	rew	rew
play-rew							
ff	off	play	rew	play-ff	stop	ff	ff
play-ff							
rec	off	rec	rec	rec	stop	rec	rec-pause
rec-pause	off	rec-pause	rec-pause	rec-pause	stop	rec-pause	rec
play-pause	off	play-pause	play-pause-rew	play-pasue-ff	stop	rec-pause	play
play-pause-rew							
play-pasue-ff							
off	stop	off	off	off	off	off	off

表 4.20: player/recorder 部分状態機械 - panasonic 共通 (1)

τ (action)	τ (media)	τ (time)	τ (exception)
		off	stop
	stop		stop
	stop		stop
play	stop		stop
	stop		stop
play	stop		stop
	stop		stop
		stop	stop
		stop	stop
play-pause	stop		stop
play-pause	stop		stop

表 4.21: player/recorder 部分状態機械 - panasonic 共通 (2)

機種別遷移表の作成&制御確認

同一メーカーの機種間では遷移表に違いが見られなかったため，共通の player/recorder 部分状態機械から，DSR-20 の機種別遷移表を作成した．player/recorder の共通遷移表で遷移に違いが出る可能性のある箇所を，赤外線イベントに対する状態機械の遷移を監視することで再定義して，機種ごとの状態遷移表を生成した．表 4.22・4.33 に DSR-20 の機種別遷移表を示す．

状態 \ 入力	pow	play	rew	ff	stop	rec	pause
stop	off	play	rew	ff	stop	rec	stop
play	off	play	play-rew	play-ff	stop	play	play-pause
rew	off	play	play-rew	ff	stop	rew	rew
play-rew							
ff	off	play	rew	play-ff	stop	ff	ff
play-ff							
rec	off	rec	rec	rec	stop	rec	rec-pause
rec-pause	off	play-pause	rec-pause	rec-pause	stop	rec-pause	rec
play-pause	off	play	play-pause-rew	play-pasue-ff	stop	rec-pause	play
play-pause-rew							
play-pasue-ff							
off	stop	off	off	off	off	off	off

表 4.22: player/recorder 部分状態機械 - DSR-20(1)

τ (action)	τ (media)	τ (time)	τ (exception)
		off	stop
	stop		stop
	stop		stop
play	stop		stop
	stop		stop
play	stop		stop
	stop		stop
		stop	stop
		stop	stop
play-pause	stop		stop
play-pause	stop		stop

表 4.23: player/recorder 部分状態機械 - DSR-20(2)

一般的な遷移表から状態遷移表の書換が正しく行われ、機種別の遷移表が作成されたことが確認できた。そして機種別の遷移表に基づいてすべて正常に遷移が行われ、実機の状態を捕捉し続けることが確認できた。自動遷移表書換シーケンスによって遷移表の書換が行われた箇所は、入力が play で状態が rec-pause と play-pause のときの 2 箇所である。書換後は入力 play に対して rec-pause から play-pause 状態に、play-pause から play 状態に遷移する。

本実験で用いた 4 機種では、メーカー・機種の依存性は弱く、同一メーカーの機種間では遷移表に違いが見られず、メーカー間でも違いは少なかった。よって、共通の遷移表を用いて限定的な機器制御を行うことは可能である。原因として、対象機種・メーカーが少なかったこと、機器の発売された年代が近いこと、型番の近い上位機種を用いたことなどが考えられる。しかし、本研究では、LegacyDevice を情報家電機器と同様に扱いユーザの利便性の向上などを図っているため、機器制御に制限を設けるのは適切ではない。また、LegacyDevice には、未知のメーカー・機種が多く存在し、それによって挙動が大きく異なる可能性も考えられ、遷移表を書き換え依存性への対応を行う自動遷移表書換シーケンスを実行することが必要になってくる考えられる。

第5章 状態制御取得方法

本章では、機器の制御に利用する赤外線信号の特徴と形式について述べる。次に、状態取得方法として赤外線信号捕捉などによる受動的状態取得と、識別用信号を利用する能動的状态取得について述べる。

外部に対して状態情報を返さないLDの状態を取得するためには、リモコンの赤外線信号を捕捉するIRセンサを利用する方法、カメラなど他センサを利用する利用、ハード的な改造を施す方法、人が直接確認する方法などが考えられる。人が直接機器の状態を確認する方法は、直接もしくはカメラで撮影した機器の状態を、人が見て判断する方法である。機器の連動動作などのサービスを行う際には、現在の機器の状態に基づき様々なサービスが自動的に実行されるため、機器の状態を常に正しく取得しておく必要があるが、この手法では、人が状態確認を行わなければ捕捉している状態は正しいものとは言えず、サービスを正しく実行することはできない。また、カメラで撮影した映像を確認する機器を持たない場合状態確認が行えないことや、状態の確認に手間がかかることなどから、この手法は、実機と状態機械の間の状態が乖離した場合のリカバリーなど限定的な用途に限る。

LDホームネットワークでは「LDを情報家電機器と同様に扱い低コストでのホームネットワークを実現」を目指しており、本研究では、赤外線リモコンによる制御と赤外線センサによる状態取得を基本に、他のセンサを、状態取得が行えなかったときや内部遷移、何らかの障害が発生して部分状態機械の状態と実機の状態が乖離してしまった場合などのリカバリーに用いて状態取得を行うこととする。

赤外線信号の捕捉やカメラセンサなどを用いた受動的状態取得方法は、IR信号が何らかの原因で妨げられた場合、機器の状態認識や制御が困難、画面表示やIR信号の形式などに機種、メーカ依存性を持つという問題があり、本研究では、受動的状態取得方法とあわせて、本来の画像や音声データに何らかの変形を加え、それを処理ユニットで取得・処理し状態取得を行う能動的状态取得方法を利用する。能動的状态取得方法では、共通の識別用信号を用いてメーカや機種の違いによらず状態取得が可能である。両方法を組み合わせることで、対象となるすべてのLDからの汎用的な状態取得が可能となる。

5.1 LegacyDeviceの制御方法

本研究で提案するシステムでは、機器の制御と状態の捕捉を行う際に、赤外線信号を利用する。そのため、赤外線信号の送信及び解析を行うための赤外線信号のデータベースが必要となる。

そこで、始めに機器の制御に用いられる赤外線信号の特徴と赤外線リモコンの信号波形フォーマットの調査を行った。その結果、赤外線信号データベースには、

- 赤外線信号のフォーマット
- カスタム・コード部及びデータ・コード部の bit データ

が必要なことがわかった。

5.1.1 赤外線信号の特徴

赤外線信号の特徴としてつぎの 6 点が挙げられる。

- 電波法などの法規制の対象とならない範囲で十分実用できる
- 人体に対して影響がない
- 受信部・送信部を低コストで小型化できる
- コードが不要なため、部屋を広く使える
- 離れた場所から装置を操ることができる
- 複数台の装置の操作が可能

このような特徴により我々は違和感なく赤外線リモコンを使用しており、TV や VTR, エアコンなどの家電製品の操作にリモコンを行うことは当たり前になっている。

5.1.2 赤外線リモコンの動作原理

赤外線を出力するには、リモコン用の赤外線 LED を用いる。使用する赤外線 LED の仕様に応じて、LED に流す電流値を決め、簡単なトランジスタ駆動回路を用いて発光させる。赤外線信号の受信には、リモコン用の PIN フォトダイオードを用いる。遠方からの赤外線信号を確実に受信するために、リモコン用に専用設計されたプリアンプを用いる。プリアンプでは、リモコンから出力されたキャリアを検出し、波形整形した信号を出力する。

5.1.3 赤外線信号の形式

家電機器の遠隔操作に用いられている赤外線信号の大半は、家電製品協会フォーマット、日本電気フォーマットのものである。以下 2 つのフォーマットについて説明する。

家電製品協会フォーマット

家電製品協会フォーマットは，財団法人 家電製品協会に家電メーカー各社の代表者が集まり，赤外線リモコンの誤動作対策について討議し，その結果「機器用赤外線リモコンの推奨方式」として提案された．

家電製品協会 (略称：家電協) フォーマットは，リーダ部，カスタム・コード部，カスタム・コードのパリティ部，データ部，トレイラ部から構成される．家電協フォーマットの信号を図 5.1～図に各部のフォーマットを示す．変調方式には，PPM(Pulse Position Modulation)を用いており，これは，赤外線信号が存在する時間及び存在しない時間により，bit データを表すものである．家電協フォーマットでは，高周波数点灯の蛍光灯などからの干渉による誤動作を考慮し，33～40kHz のキャリア周波数内で使用するように推奨している．図 5.2 で示す HIGH, LOW は，赤外線信号の有無を表し，T は時間間隔を示す．時間間隔 T は，0.35ms ; T ; 0.50ms と規定されている．

- リーダ部

赤外線リモコンにより出力された信号であることを示し，リモコン信号を読み取るときに必要な信号である．リーダ部は図に示す．

- カスタム・コード部

カスタム・コード部は，16bit で構成され，赤外線信号がどのメーカーの家電製品のものを表す．

- カスタム・コードのパリティ部

カスタム・コードのパリティ部は，4bit で構成され，パリティチェックに用いられる．

- データ部

データ部は，任意の byte 長データにより構成される．実際の機器操作命令を表すために用いられる．

- トレイラ部

赤外線リモコンによって出力された赤外線信号の終端を示す．

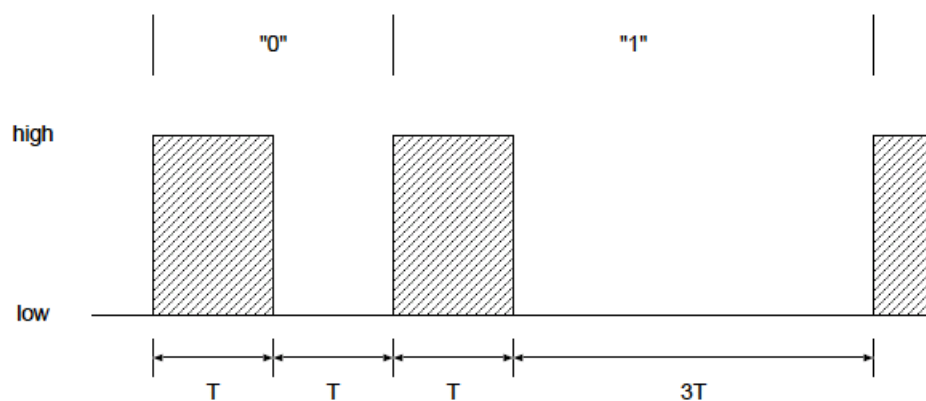
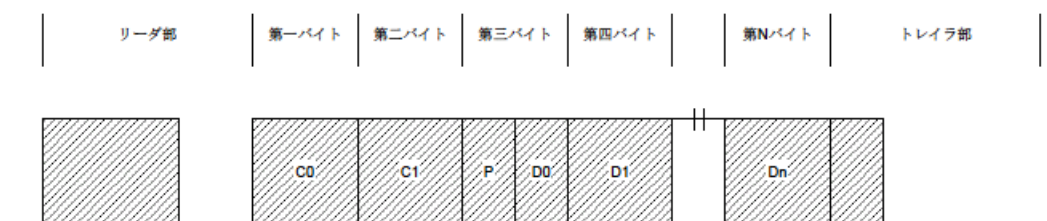


図 5.1: PPM 変調 (家電協フォーマット)



C0・C1	カスタム・コード部
P	カスタム・コードのパリティ部(4bit)
D0	データ・コード0(4bit)
D1～Dn	データ・コード部

図 5.2: 家電協フォーマット

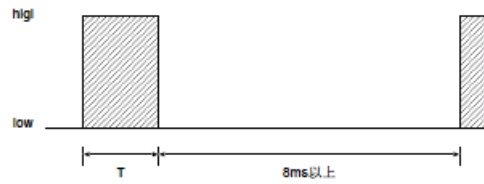


図 5.3: トレイラ部

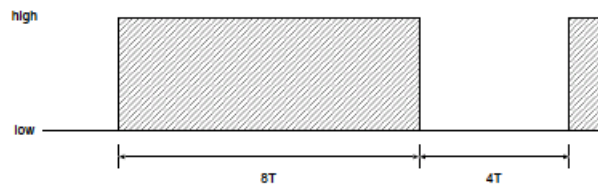


図 5.4: リーダ部

日本電気フォーマット

日本電気フォーマットは、リーダー部、カスタム・コード部、データ・コード部から構成される。日本電気フォーマットの信号を図 5.1～図に各部のフォーマットを示す。変調方式には、家電協フォーマットと同様、PPM(Pulse Position Modulation)を用いているが、キャリア周波数は 38kHz に固定しており、信号の時間間隔 T も、0.56ms と固定されている。

- リーダ部

家電協フォーマットと同様、赤外線リモコンにより出力された信号であることを示し、リモコン信号を読み取るときに必要な信号である。

- カスタム・コード部

16bit の固定長データで構成され、各家電製造業者ごとにカスタム・コードがふられている。

- データ・コード部

16bit の固定長データで構成される。カスタム・コード部とは、前半の 8bit と後半の 8bit が 1 の補数の関係にある点異なる。データ・コードの受信処理の際は、16bit 取り込んだ後で、前半 8bit と後半 8bit を比較する必要がある。データ・コード部の信号の長さは、 $1.125(\text{ms}) \times 8 + 2.25(\text{ms}) = 27(\text{ms})$ となる。

- リピートコード部

リピートコード部は、リモコン送信機のキーが押され続けたときに出力されるコードであるリピートコードを、伝えるために用いられる。

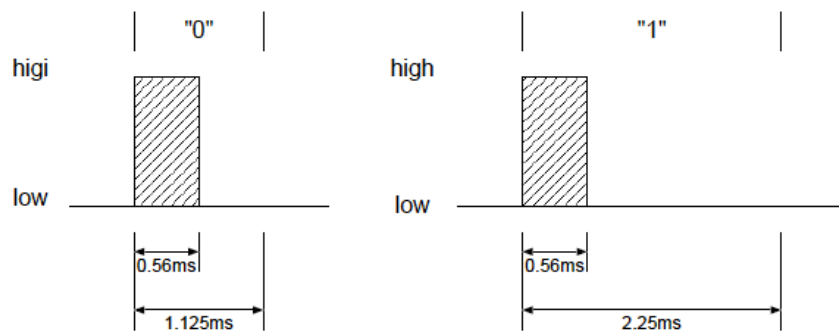


図 5.5: PPM 変調 (日本電気フォーマット)

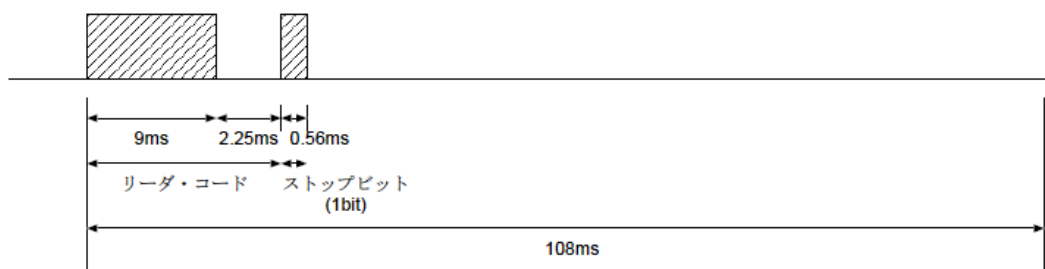


図 5.6: リピートコード部

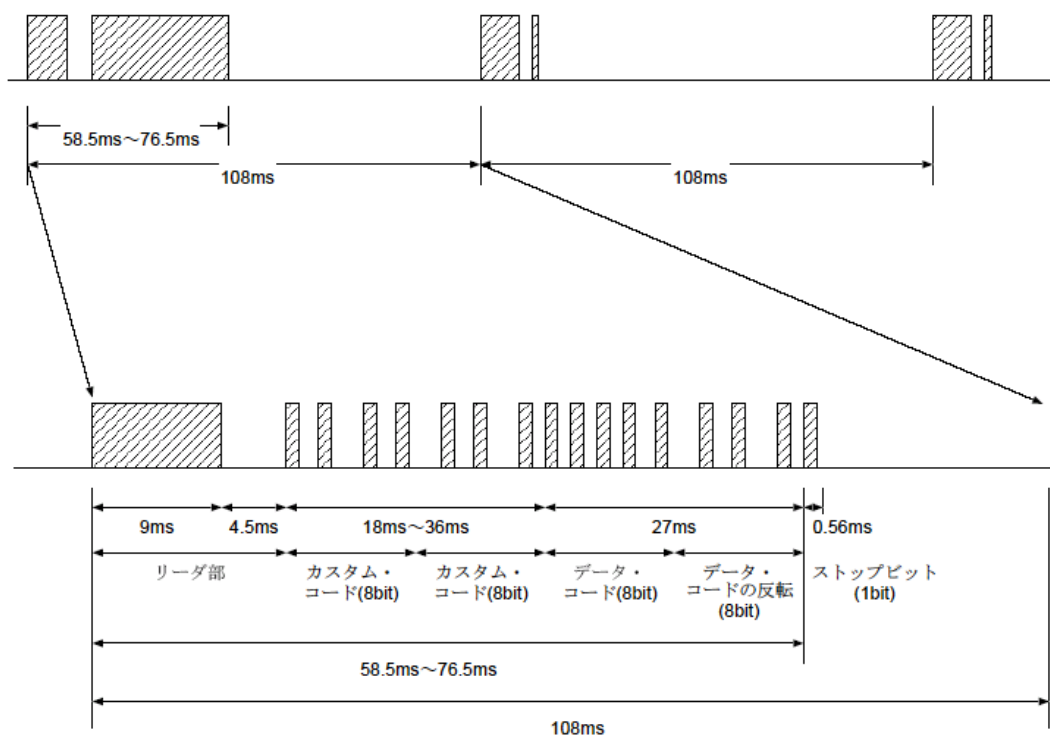


図 5.7: 日本電気フォーマット

5.2 受動的状態取得

受動的状態取得は，様々なセンサから得られるセンサ情報を利用した状態取得方法である．受動的状態取得方法は，赤外線センサを利用する方法と，赤外線センサ以外のセンサ(他センサ)を用いる方法の2種類に大別できる．赤外線センサを利用する方法は，赤外線リモコンによる機器制御を捕捉し状態取得を行うので，赤外線制御によって生じた機器の状態変化を捕捉することができる．しかし，内部遷移やエアコンを制御した際の室温の変化など機器の周りの環境情報を捕捉することはできない．それに対して他センサを用いた方法は，赤外線信号での制御時以外も状態取得が可能であり，取得したセンサ情報を状態情報に変換し，機器の状態を直接取得する．

5.2.1 センサ情報の利用

他センサを状態取得に用いる場合，センサの種類だけではなく，分解能やセンシング可能な範囲を考慮する必要がある．ある機器の状態取得を行う場合，状態取得に必要な分解能を持たないセンサを用いても，機器の状態を取得することはできない．同様に，適切な位置にセンサを配置せず，センシング対象となる情報が取得できなかった場合も，機器の内部状態を知ることはできない．適切な分解能を持つセンサを，適切な位置に配置して状態取得が可能となる．

本研究では，センサ情報と状態情報の対応表を用いて，センサ情報と状態情報の変換を行っており，センサは，状態情報の判別が行えるだけの分解能を持つものを利用すれば良い．例えば，状態情報が5 づつ設定してある温度情報を利用する amp 部分状態機械の場合，温度センサは5 以下の分解能を持てば，機器の状態情報の判別が可能である．

センサ情報から変換を行った状態情報は，センサの種類，分解能にかかわらず一定である．例えば，カメラセンサを用いて取得した「電源 OFF」という状態情報は，電流センサを用いて取得した「電源 OFF」状態情報と同じように状態機械で扱うことができる．本研究では，センサの違いを意識せずに，センサが取得したセンサ情報に基づく状態情報を利用して，部分状態機械を遷移させ，機器の内部状態を取得する．ここで注意しなければならないのが，IR センサを用いて取得した情報と他センサを用いて取得した情報は本質的に異なっているということである．IR センサからの情報は，機器の状態を表すわけではなく機器に対する入力であり，通常イベントとして状態機械で直接扱うことができる．しかし，他センサから得られる状態情報は機器の状態を表しており，状態機械で直接扱うことはできない．よって，他センサで取得した状態状態に遷移させるイベントを検索する必要がある．本研究では，幅優先探索を用いてイベント検索を行う．

本研究では，複数のセンサを用いて機器の状態取得を行うが，その際，複数のセンサで同じ部分状態機械の情報を捕捉している場合が考えられる．例えば POWER 部分状態機械の観測を行うセンサには，IR センサ/カメラ/電流センサなどが存在し，どのセンサからの情報を優先的に扱うのか決める必要がある．本研究では，IR センサから得た情報を

優先的に考え、他センサからの情報はリカバリ目的として利用する。例えば、リモコンによって機器に状態遷移が生じた場合、IR センサからの状態情報を元に状態遷移を行い、もし他センサが存在した場合、現在の部分状態機械の状態と、他センサから取得した部分状態機械の状態を比較し、両者が異なる場合は何らかの障害が発生したと考え、他センサの情報を元に状態遷移を行う。

5.2.2 赤外線センサを用いた方法

赤外線センサを用いた方法は、赤外線リモコンから出力される赤外線信号を赤外線受光部で受信して、機器の内部状態を取得する。赤外線リモコンから出力された命令は、赤外線受光部で受信され、処理ユニットに入力される。処理ユニットでは、赤外線信号のデジタルデータに含まれるカスタム・コードやデータ・コードを元に、赤外線データベースを参照して状態機械に対する入力に変換する。そして入力と部分状態機械の状態の組み合わせで状態遷移表に基づく遷移関数を呼び出して次の遷移先に状態遷移を行う。以上のシーケンスによって、実際の機器の状態と、処理ユニット内での機器の状態は一致する。

赤外線信号は直進性が強く、送受光部の間の障害物を通過したり透過したりできないので、装置は常に向かい合うことのできる位置に設置されなければならない。赤外線センサは、機器それぞれに設置したり、複数の機器で共有することもできる。機器単体にセンサを設置する場合は、センサを機器付属の受信部の近くに設置すれば、センサと機器付属の受信部のどちらかでしか信号を受信できず、実機と状態機械の状態が異なるといった問題が生じる可能性は低い。また、TV と VTR のように、機器同士が近い位置に設置されている場合、1つの受光部で複数の機器の信号を検知することができるが、機器複数の付属センサと設置したセンサの両方で等しく信号を受信する必要があり、センサの配置に注意する必要がある。また、赤外線受光器の特性上、同時に複数の命令は受信できないので、そのような可能性のある場合は、複数のセンサを用いて、機器個別に信号を受信する必要がある。

5.2.3 他センサを用いた方法

他センサを用いた方法は、温度、湿度、電流、カメラなど様々なセンサ情報を取得し、機器の内部状態を取得する。センサ情報は、センサでアナログデータを取得し A/D 変換器で変換を行い、処理ユニットにデータを送り、そのデータを処理ユニットで適切な形式に変換を行った上で、人が読めるテキストデータとして表現している。

センサから得られるセンサ情報は、機器の状態を直接表すわけではなく、機器が動作することによって影響を及ぼす情報にすぎない。よって、機器の状態を取得するためには、得られたセンサ情報から現在の機器の状態を推定する必要がある。状態の推定は、センサ情報を機器の持つ状態ごとに分類することで行う。例えば、電流センサの場合、センサ情報が「0A」であれば、機器の状態は電源 OFF だとわかる。他のセンサについても同様

に，センサ情報と機器の持つ状態を対応させる．表 5.1 にセンサ情報 (湿度) と機器の状態の対応関係を示す．他センサから得た状態情報は，IR センサで取得した部分状態機械に対する制御命令とは異なり，現在の部分状態機械の状態を表す．

センサ情報 (%)	状態情報
0 ~ 20	STATE_HUMID1
20 ~ 40	STATE_HUMID2
40 ~ 60	STATE_HUMID3
60 ~ 80	STATE_HUMID4
80 ~ 100	STATE_HUMID5

表 5.1: センサ情報と状態情報の対応関係例

センサ	センサ情報
camera	チャンネル番号など映像関連 LD の情報を示す．
current	電流計測値を示す．
humid	湿度計測値を示す．
illumination	照度計測値を示す．
ir	受信赤外線信号を示す．
noise	電源状態，映像関連 LD の情報を示す．
open_close	デバイスの開閉を示す．
temp	温度計測値を示す．
wind	風量計測値を示す．

表 5.2: センサの種類とセンサから得られるセンサ情報

以上のような手法を用いて取得した他センサの状態情報と，IR センサから取得した状態情報により遷移した後の，遷移後の部分状態機械の状態を比較することで，制御が正しく行われたかどうかの確認を行うことができる．例えば，赤外線センサで「エアコンを設定温度 28 で動作」という命令を受信したにも関わらず，室温が上昇しない場合，実際には機器は動作していないことが予想される．このようにして，他センサと赤外線センサを両方利用することで，状態取得が確実に行えるようになり，結果として制御の確実性を高めることができる．

5.3 能動的状態取得

能動的状態取得は，LD が利用する様々な信号に対して，フィルタや RF モジュレータなどの観測関連デバイスを用いて特定の信号に何らかの変形を加え識別用信号を付加し，それをカメラなどの観測関連デバイスで観測することで，機器の状態を取得する．識別用信号とは，状態取得の取得に利用され，元の信号に対して重畳されるノイズなどの信号のことである．この手法では，観測関連デバイス側で識別用信号を用意し付加しているので，メーカや機種依存性を考慮する必要がない．識別用信号の入力方法としては，以下の 3 種類が考えられる．

- a. チャンネルごとに異なる信号を生成し，その信号を各チャンネルの周波数で変調した上で同時に送出して，捕捉できた信号をデコードし状態を検出する方法．1 回の信号受信で状態を確定することができる反面，様々な周波数で同時に信号を送出する必要があるため，信号生成側が複雑になってしまう．
- b. 1 種類の信号を生成して周波数を切り替えながら送出し，送出タイミングと受信タイミングからどのチャンネルで受信したのかを検出する方法．信号の送出，検出ともに簡単な装置で済ますことができるが，チャンネルの個数分，信号の送出と検出を繰り返す必要があるため，若干時間的には長くなる．
- c. チャンネルごとに異なる信号を生成し，それを周波数を切り替えながら送出し，モニタできた信号をデコードし状態を検出する方法．a と b とを組み合わせた方法で，信号の送出と検出側とで，あまり厳密にタイミング合わせをしなくても識別が可能となる．

本研究では，機器的な複雑さを考慮し b の方法を採用する．b の方法で問題となる多チャンネル化による状態検出時間の長大化については，IR による内部状態の推定を元にもっとも確率が高そうなチャンネルからチェックを始めることで対処する．

識別用信号として，テレビなどのビデオ信号として規格に合った信号を流そうとすると，元の信号にタイミングを合わせて，しかも規格に合った信号にするための工夫が必要になる．そのためには，一度受信してから識別用信号を合成して，そして再送出ということになる．そのためにはチューナーや，RF モジュレータなどの装置が必要になってくるため，装置的に大がかりなものとなり，現実的ではない．そこで，本研究では，特定の周波数成分のみの信号を減衰するフィルタを用いて，識別用信号を付加する．どのチャンネルの周波数成分を落とすのかをデジタル制御を行うことで，機器の状態取得が可能となる．また，フィルタの適応周波数を変えることで TV や AUDIO に対応可能である．

5.3.1 識別用信号の入力

フィルタを用いた方法は，特定のチャンネルの信号をまったく遮断するような形をとり，その遮断のされかた・時間や，遮断されるチャンネルを限定するといった手法を用いて識別

用信号を付加し，状態取得を行う．識別用信号の入力には，RF モジュレータ・FM モジュレータ，信号のフィルタリングを行う方法が挙げられる．以下にフィルタを用いてノイズを付加した場合のチャンネル識別の処理手順を示す．

1. 通常視聴している m チャンネルの情報を持つ信号を，チャンネル数分だけ用意したフィルタで，信号のフィルタリングを行い， $m-1$ チャンネル（BEF），または 1 チャンネル（BPF）の情報を持つ信号へ，処理ユニットで制御を行う切替器を用いて，次々にフィルタの切りかえを行う．
2. 処理ユニットは，LD の AV 出力などからアナログ信号の処理を行い，発生するノイズを検出する．
3. BPF の場合，複数のフィルタの切りかえを行ったときに，ホワイトノイズではないチャンネルが視聴チャンネルとなる．

フィルタにより発生するノイズを用いた状態取得では，テープ切れなどの内部遷移への対応は不可能であり，カメラ映像や AV 出力信号の処理による状態取得を行う必要がある．

ノイズ識別

処理ユニットにおいて，観測関連デバイスを用いて取得した画像の認識処理を行う際，ノイズ有り・なしの画像の判別を行う手法として，画像をフーリエ変換し画像の周波数特性を作り，その特性グラフを 1 次関数近似し傾きを見る方法が考えられる．画像を 2 次元の FFT にかけて周波数特性を見ると，クリア画像では低周波側でコントラストが高く，ノイズ画像では高周波ほどコントラストが高い特性を持っており，このような特性の違いを利用して，ノイズ画像を識別する．

画像 $f(i, j)$ のフーリエ変換 $F(u, v)$ のパワースペクトルは，

$$P(u, v) = |F(u, v)|^2$$

となり，これは，空間周波数 (u, v) の強度を表す．そして，特徴を計算するためには， $P(u, v)$ を極座標形式で表して $P(r, \theta)$ として， $P(r)$ を求める． $P(r)$ はパワースペクトル空間において，原点を中心とした円形の領域のエネルギーの和を表している．

$$P(r) = \sum_{\theta=0}^{2\pi} P(r, \theta)$$

本研究では， $P(r)$ のグラフの特徴を利用してノイズ識別を行う．

ノイズ画像処理例

1. $\text{IMG}[i][j]$ の画像があったとき，FFT につけて $\text{FFT}[n][m]$ に変換する．このとき四隅が低周波になり十字線の位置が高周波になる．



図 5.8: 源画像 (クリア画像)

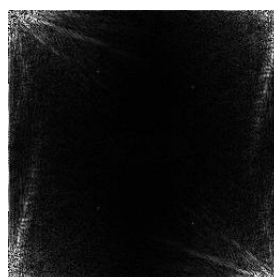


図 5.9: FFT 後

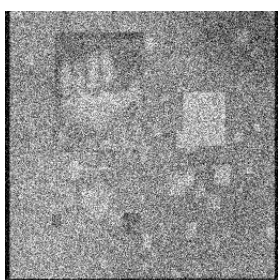


図 5.10: 源画像増 (ノイズ画像)

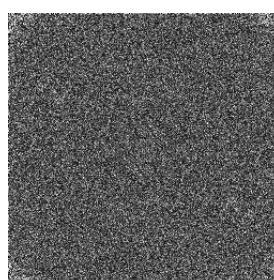


図 5.11: FFT 後

2. 領域を変換する．そうすると，四隅が高周波，中心が低周波にすると中心から半径の距離がそのまま周波数になる．

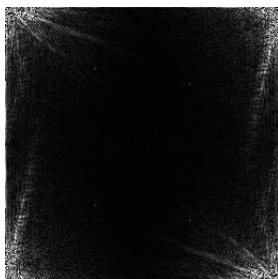


図 5.12: 変換前

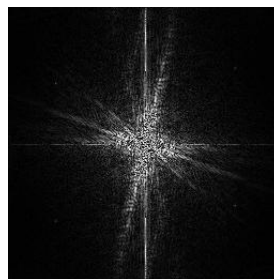


図 5.13: 変換後

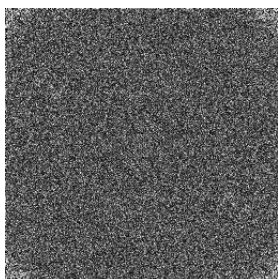


図 5.14: 変換前

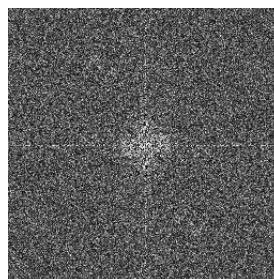


図 5.15: 変換後

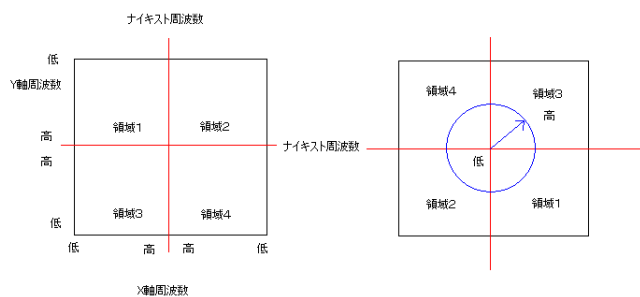


図 5.16: 領域変換

3. 同じ距離にあるデータを積分して，それをその周波数のコントラストとし，横軸を周波数（半径），縦軸をコントラストという特性グラフを作成する．
4. ホワイトノイズのような映像だと，グラフは，右上がりの直線または曲線になるので，特性グラフを1次関数近似し，その傾きを見る．

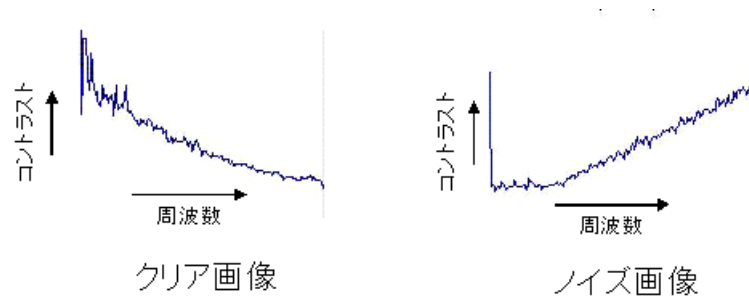


図 5.17: 特性グラフ

5.4 状態取得方法の確認

5.4.1 能動的状態取得

識別用信号を用いた方式

能動的状態取得の一例として，フィルタを利用したTVのチャンネル識別手法の実験を行った．実験では，処理ユニットに設置したTVカードを利用し，ソフトウェア上でチャンネルを操作することによって取得したTVの静止画像のノイズ判定を行い，チャンネル帯を明らかにする．本実験では，実装上の難しさからバンド毎に作成したフィルタを利用したが，フィルタを各チャンネル毎に作成することで，チャンネル識別が可能となる．

フィルタの実装及び評価

TVチャンネルを周波数帯が近い3つのバンド（VHF1，VHF2，UHF）に分類し，それぞれのバンドについてバターワース型のBPFの試作を行った．設計は，3次バターワース型正規化ローパスフィルタを元に行った．設計した3つのフィルタは，各バンドが十分に離れているので3つに合成している．表にフィルタの設計仕様を示す．

チャンネル	周波数
1 ~ 3ch	90 ~ 108MHz
4 ~ 12ch	170 ~ 222MHz
13 ~ 62ch	470 ~ 770MHz

表 5.3: TV のチャンネルと周波数

帯域	52MHz
中心周波数	194MHz

表 5.4: VHF1 フィルタ

帯域	300MHz
中心周波数	600Mhz

表 5.5: VHF2 フィルタ

帯域	20MHz
中心周波数	98MHz

表 5.6: UHF フィルタ

設計したフィルタの回路図を以下に示す .

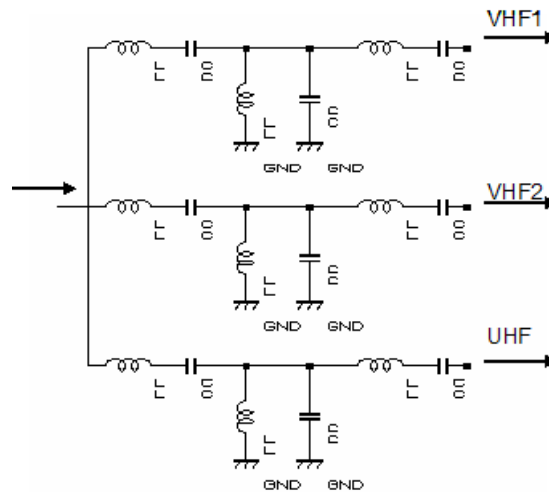


図 5.18: フィルタの回路図

設計したフィルタの通過特性を以下に示す．

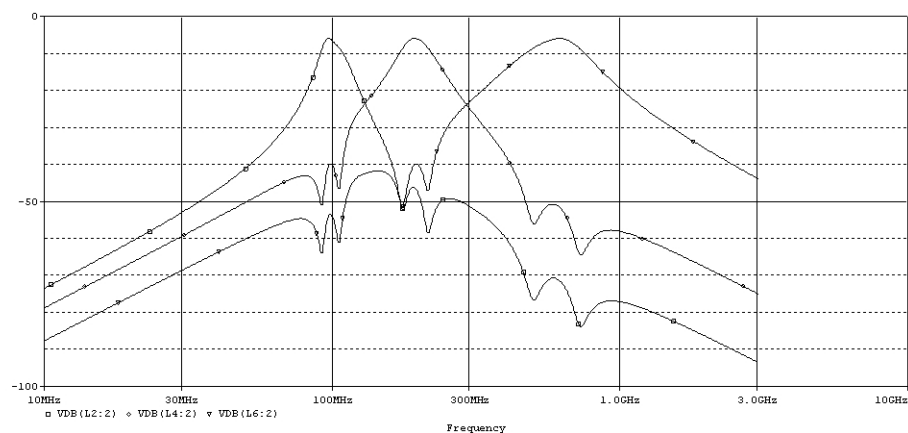


図 5.19: シミュレーション結果 (AC 解析)

図 5.20 に実装したフィルタを用いて実際のテレビ信号で実験を行った結果を示す．目視では十分な変化が見られ，特定のバンドのフィルタリングを行わない BPF の特性が得られた．設計したフィルタを用いてあるチャンネル帯にのみノイズが発生する TV 信号を，処理ユニットに設置した TV キャプチャボードで受信し，本研究で提案するノイズ認識手法を用いることで，視聴チャンネル帯の識別が可能である．例えば視聴しているチャンネルの映像にノイズが混入した場合，フィルタリングを行っているフィルタの周波数を見ることで視聴チャンネル帯がわかる．

実装したフィルタは非常に高周波帯に適応されているため，コンデンサの寄生インダクタを無視できない．フィルタを構成している 2 つの共振回路のうち，LC 直列回路のコンデンサの寄生インダクタは，共振回路のコイルの値をあらかじめ少なくしておくことで，影響をなすくすことができる．LC 並列回路のコンデンサに寄生するインダクタは，フィルタの特性に大きな影響を及ぼす可能性があり，シミュレーションに近いフィルタの特性を得るには，寄生インダクタの値が小さいコンデンサを選択する必要がある．



フィルタなし



フィルタあり

図 5.20: 実験結果

第6章 システム設計

前章までに述べた手法・考察に基づき，LegacyDevice を機器資源として扱い，資源の相互運用を実現するホームネットワークシステムの設計を行った．本章では，システムの概要と処理ユニットの設計内容，システムの動作概要について述べる．

6.1 システムの概要

本研究で提案するシステムは，各家電機器の状態管理及びその制御などホームネットワーク内で行われる処理を集中的に処理ユニットで行う集中制御型システムである．集中制御型システムのメリットとして，一貫性のある情報管理・制御，敏速な判断，低コストが挙げられる．デメリットとして，1つの要素への負荷の集中がある．

本研究では，家庭内に1つのホームサーバが存在する環境での，低コストなホームネットワークの実現を目指しており，集中制御システム(図 6.1)を採用する．

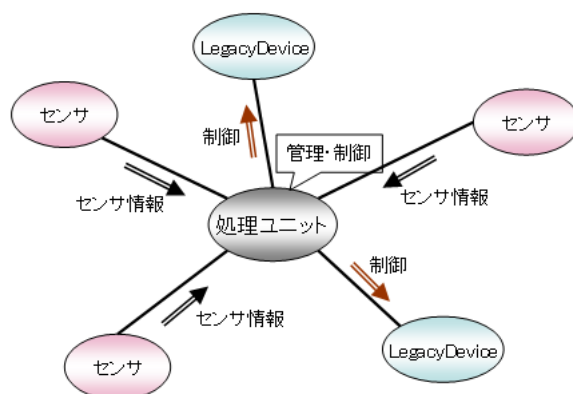


図 6.1: システム構成図

システムのハードウェア構成は，LegacyDevice，各種センサ，処理ユニットの3種類の構成要素から成る．センサ及びLegacyDeviceには，その識別のためにシステム内でユニークなIDが付加されている．処理ユニットは，システム内に存在するすべての機器・センサの管理を行っており，LegacyDeviceの状態変化のトリガとなるイベントを監視する．セ

ンサからのイベント発生時にはイベントがどの部分状態機械に対するイベントか selector を用いて判定を行い、判定を行った結果に基づいて取得した部分状態機械の状態と、イベントを組み合わせで部分状態の遷移関数を呼び出し、状態を遷移させる。

処理ユニットで制御が行われる赤外線リモコンを用いて、処理ユニット内に連動動作といった高度なサービスを実現することができる。

6.2 処理ユニット

図 6.2 に処理ユニットのソフトウェア構成を示す。処理ユニットは、データベース管理・機器制御部、態取得・処理部、通信部、LD_DB 部、Sensor_DB 部、IR_DB 部、StateTable、ユーザインターフェース部から構成される。

処理ユニットでは、センサデータベースが保持する状態情報を、LegacyDevice データベースが保持する部分状態機械の状態と組み合わせ、部分状態機械ごとの遷移関数に基づいて状態の遷移を行う。例えば、センサデータベースの状態情報が「PLAY」の場合、「PLAY」がどの部分状態機械に対するイベントであるか selector を用いて判定を行い、その結果得た player/recorder 部分状態機械の状態が「STOP」であったら、両者を組み合わせで player/recorder 部分状態機械の遷移関数を呼び出し、次の遷移先「PLAY」に遷移する。

LegacyDevice データベースでは、部分状態機械を観測しているセンサのセンサ ID を保持しており、センサ ID を指定することで、センサデータベースの状態情報を参照することができる。例えば、部分状態機械に player/recorder を持つ VTR の場合、LegacyDevice データベースで保持しているセンサ ID を利用して、センサデータベースを参照し状態情報を取得する。IR センサやカメラセンサなど 1 つのセンサで複数の部分状態機械の状態が観測可能な場合、複数の部分状態機械でセンサ ID を共有することができる。

6.2.1 manager

システム内に存在する manager の役割について説明する。

データベース管理・機器制御部

- controlmanager
状態取得のために必要なフィルタの切替や、ユーザの指示による状態変更などといった機器の制御を行う。
- eventmanager
eventmanager は、本システムで中心となる manager であり、他 manager に対して、機器制御の要求や状態遷移表の更新などを要求する。

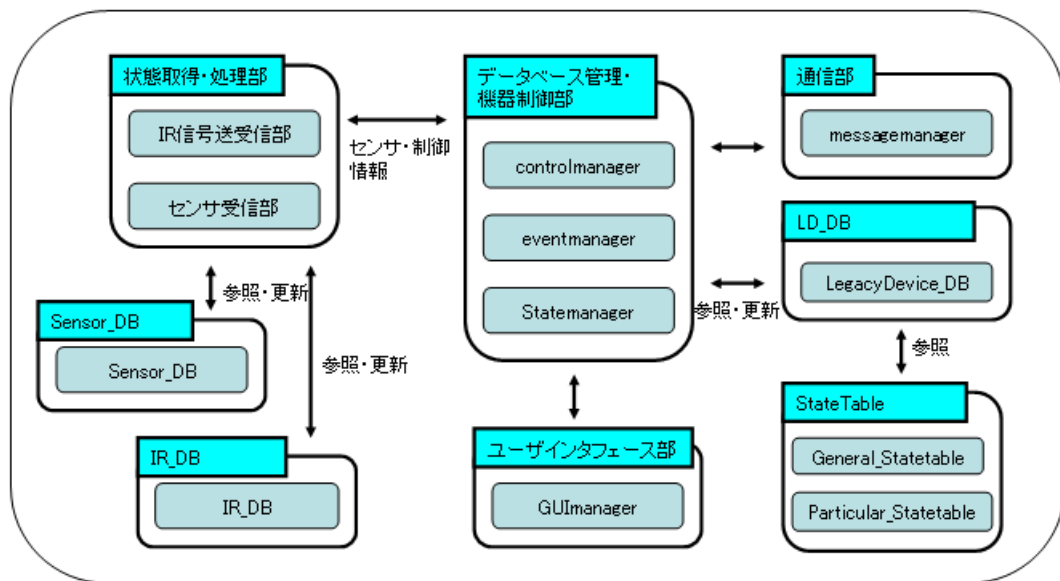


図 6.2: ソフトウェア構成

- statemanager
イベントに基づく状態遷移表の更新や LD_DB の参照・更新，部分状態機械の選択，制御命令の変換など，状態遷移表やデータベースの管理を行う。

通信部

- messagemanager
他規格との通信に関係した処理を行う。他規格からの問い合わせや制御命令などに応じたイベントの発行を eventmanager に要求する。

6.2.2 状態取得・処理部

状態取得・処理部では，リモコンを用いた赤外線信号による機器制御，電源コントローラによる電源の ON/OFF，センサ信号の受信・変換，センサ情報の変換といった処理を行う。センサから取得した情報は，赤外線信号の場合，IR_DB を参照し状態情報に変換を行い，センサデータベースに書き込む。他センサの場合は，変換表を用いてセンサから取得したセンサ情報と状態情報の変換を行い，状態情報をセンサデータベースに書き込む。

6.2.3 statetable

状態遷移表は，一般的・メーカー別遷移表である General_statetable と機種別遷移表である Particular_statetable の 2 種類に分けられる．General_statetable は部分状態機械ごとに定義しており，現在の部分状態機械の状態と入力で遷移関数を呼び出し，状態の遷移先を取得することができる．

Particular_statetable は General_statetable を元に作成する．General_statetable を参照して，その情報を一時的に Particular_statetable として書き込み，自動遷移表書き換えシーケンスを実行して依存性を持つ箇所の再定義を行う．

6.2.4 データベース

データベースは，LegacyDevice の ID や LegacyDevice が保持する各部分状態機械の状態，センサ ID といった情報を保持している LegacyDevice データベースと，センサ ID や状態情報などセンサに関係した情報を保持しているセンサデータベース及び，赤外線信号・状態情報の変換のための情報を保持する赤外線データベースの 3 種類から構成される．

LegacyDevice データベース

LegacyDevice 自体には，機器の名称や ID といった自己の持つ情報を外部に通知する機能が備わっていないため，何らかの形でこれらの情報を管理・保持する必要がある．本研究では，処理ユニット内に LegacyDevice データベースを配置し状態管理を行う，

LegacyDevice データベースは，機器の ID・種類・メーカー名など機器固有の情報と，その機器が保持する部分状態機械及び部分状態機械の状態を取得するためのセンサ ID から構成される．データベースのテーブル情報は図 6.3 に示すものである．

id	appliance	maker	model	statemachine	
				state	id_sensor
機器の識別子	機器の種類	メーカー名	機種名	部分状態機械の状態	センサの識別子

図 6.3: LegacyDevice データベースのテーブル情報

sensor データベース

本研究では，複数のセンサを用いて状態取得を行っているため，様々なセンサの情報を保持する必要がある．本研究では，センサデータベースにあらゆるセンサの情報を保持

し，センサ関連の情報を一元的に管理している．センサデータベースは，sensorID，センサ名，状態情報，単位から構成されている．センサデータベースでは，一定時間で更新される最新の状態情報を保持している．表にセンサデータベースの構造とデータの一例を示す．

sensorID	sensor 名	状態情報	単位
1	温度センサ	state_temp28	

表 6.1: センサデータベースのテーブル情報例

赤外線データベース

赤外線データベースは，赤外線センサで受信した信号を，状態情報に変換するために利用する．よって，赤外線データベースは，赤外線センサから得られる情報と，状態情報を対応させたものになっている．変換後得られた状態情報は sensor データベースに書き込まれる．赤外線センサから得られる情報は，赤外線フォーマットと赤外線のデータで構成されている．赤外線フォーマットは，家電協及び NEC フォーマットでのカスタムコード部にあたり，どのメーカーの家電製品かを示す．赤外線信号のデータは，家電協フォーマットでのデータ部にあたり，機器操作を行う命令を表している．

command	irformat	irdata
状態情報	赤外線信号フォーマット	赤外線信号のデータ

表 6.2: 赤外線データベースのテーブル情報

6.2.5 イベントの処理

レガシーデバイスの制御を行った際の，イベント処理の流れを説明する．まず，ユーザがリモコン操作により LegacyDevice の操作を行い，その赤外線信号を処理ユニットの状態取得・処理部によって捕捉する．赤外線信号は，状態取得・処理部で IR_DB を参照して状態情報に変換を行いセンサ DB に書き込まれる．次に，センサ DB の状態情報と LD_DB の現在の部分状態機械の状態に基づいて，状態遷移表を参照して次の遷移先を取得し，LD_DB を更新する．カメラなど他のセンサが存在する場合，他のセンサから状態取得を行い，取得した状態が，現在の機器の状態と異なる場合は，他のセンサからの情報で状態遷移を行う．他センサが複数存在する場合は，あらかじめ設定したセンサを優先する．次に，現在の状態が内部遷移を伴う状態であった場合，他のセンサから一定時間間隔で状態取得を行い，内部遷移の発生を捕捉する．そして，他センサで内部遷移の発生を捕

捉したら，内部遷移イベントを発生させ状態遷移表に基づいて状態遷移を行い，再び，遷移後の状態が内部遷移条件と合致していないかどうか判定を行う．以上のようにして状態遷移が行われる．

このイベント処理の流れは，赤外線センサを中心にした状態取得を考えた場合であり，例外制御や障害などに対応する場合は，他センサによる状態監視を一定時間間隔で行う必要がある．

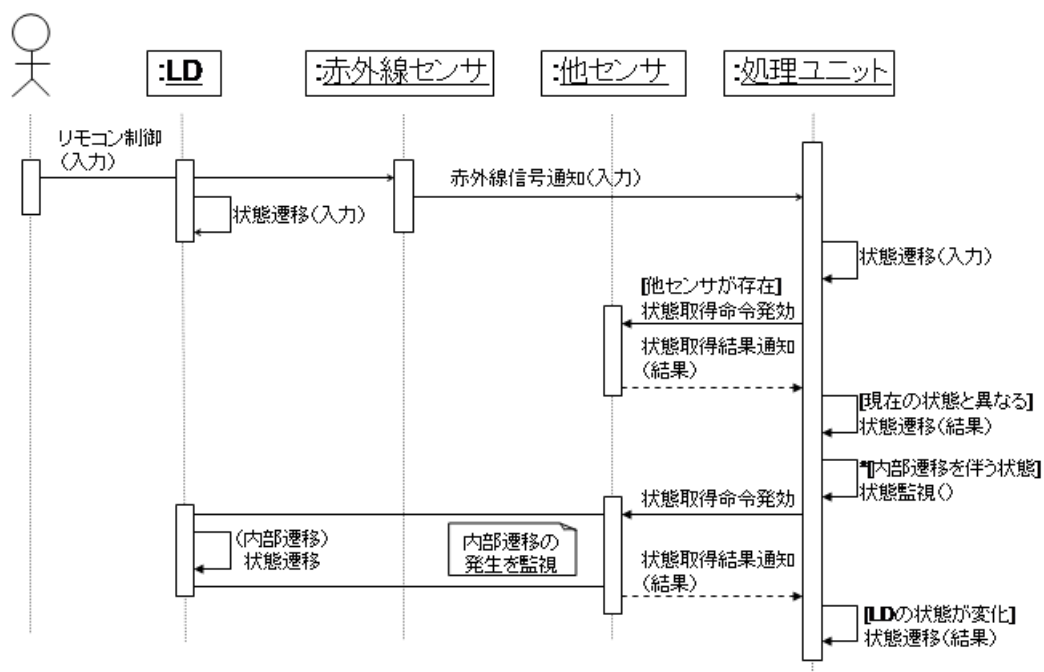


図 6.4: イベント処理

6.3 自動遷移表書換シーケンス

自動遷移表書換シーケンスを，コラボレーション図で表す．手順3～8を繰り返すことで，遷移表の書換が完了する．

1. Particular_statetable 作成命令を受けた evnetmanager は，statemanager に対して Particular_statetable の作成及び依存性を持つ状態の検索を要求する．
2. statemanager は，General_statetable の情報を Particular_statetable に書き込み，一時的な Particular_statetable を作成する．
3. statemanager は，遷移表の依存性を持つ状態とイベントの組み合わせを eventmanager に返す．
4. eventmanager は，controlmanager に対し，依存性を持つ状態への制御を行いイベントを入力し制御後の状態取得を要求する．
5. controlmanager は要求に従い，赤外線リモコンの制御などの処理を状態取得・処理部に要求する．
6. 状態取得・処理部では，controlmanager からの命令に従い実際に機器制御を行う．そして，機器制御による状態変化を観測した結果である状態情報を sensorDB に入力し，eventmanager に渡す．
7. 状態情報に基づき，statemanager に対し遷移表の書き換えを要求する．
8. statemanager は，LegacyDeviceDB が参照している statetable 及び LD_DB の部分状態機械の状態を更新する．

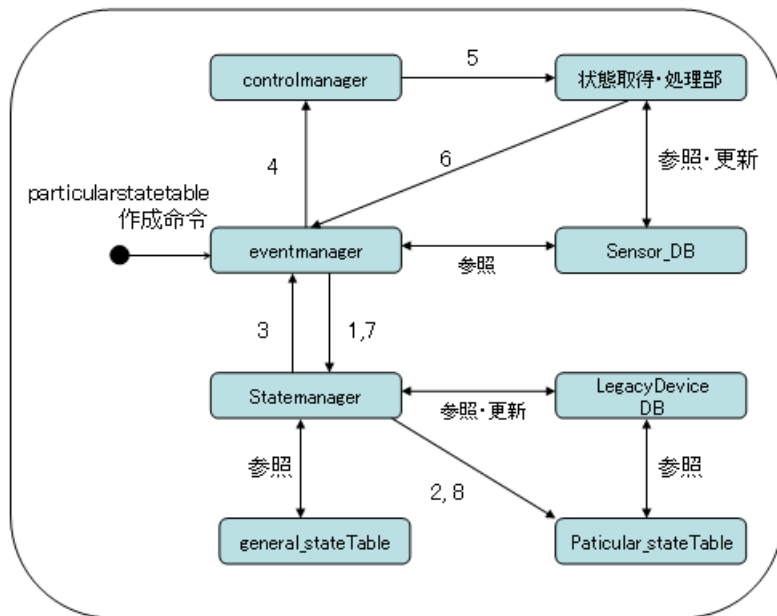


図 6.5: 自動遷移表書換シーケンス

6.4 他規格との接続

本システムは、浜本ら [2][3] によって研究が行われている「LegacyDevice ホームネットワークと他規格との相互接続を実現するゲートウェイ」との接続が可能である。ゲートウェイと処理ユニットを接続して、LegacyDevice ホームネットワークと各種規格ホームネットワークとの相互接続を行うことで、LegacyDevice ホームネットワークから他ホームネットワーク規格の家電の制御など、両規格の家電を差異なく扱えるようになる。

6.4.1 システム構成

各種ホームネットワーク間を相互接続するシステムの構成を図 6.6 に示す。このシステムでは、各種規格における家電を LD Object としてモデル化し、この LD Object を通じて家電を制御する。LD Object から家電を制御する際は、各種規格のゲートウェイを介して行われる。LD Manager は、各種規格において家電を検索を行い、システム内に LD Object の生成を行う。

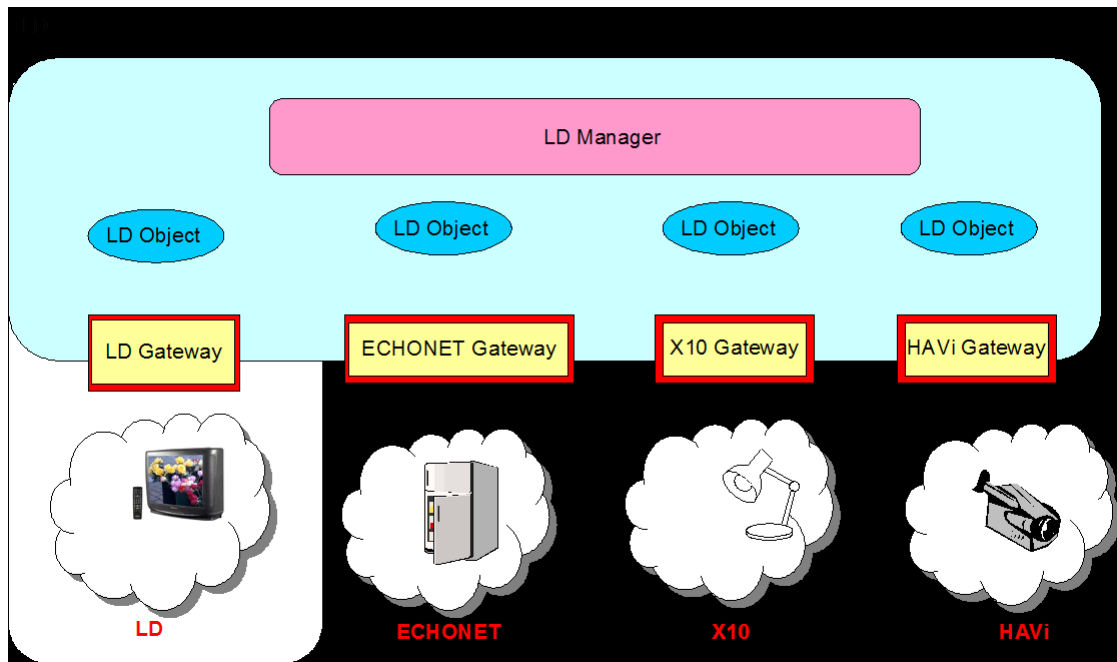


図 6.6: 他規格のシステム構成

LD Object

LD Object は、LD ネットワークにおいて LD や各種規格における家電を区別することなく扱うことを可能にしたものである。機種固有の機能も含めた家電の機能を洗い出し、同種の家電に分類し共通したものをその種類の家電の共通機能とし、LD オブジェクトのプロパティ・メソッドとして定義する。規格間を相互接続する際、この LD オブジェクトを通じて家電の制御を行う。

LD Manager

LD Manager は各種規格における家電の検索を行い、その結果に基づいてシステム内に LD Object を生成し、その際にアドレスも付与を行う。また他規格から家電の検索に対してシステム内に存在する LD Object のリストを返す役割も持つ。

各種 Gateway

Gateway は各種規格と本システムとのゲートウェイを表す。本システムと各規格の間にゲートウェイを実装することで、図 6.7 に示すように、各種規格間にゲートウェイを実装するよりも少ない工数で済む。

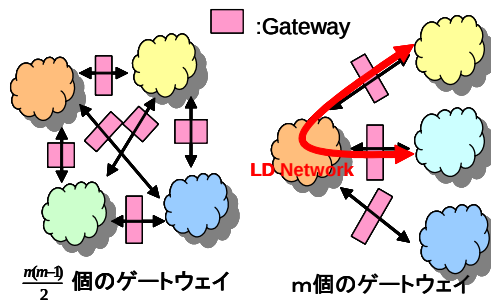


図 6.7: ゲートウェイ

6.4.2 メッセージフォーマット

処理ユニットとゲートウェイとの通信の際に用いられるメッセージは、次の4種類である。登録されている機器の問い合わせを行う inquiry メッセージと、inquiry メッセージに対する応答であり、システム内に登録されている機器のリストを返す response メッセージと、機器制御の実行を指示する control メッセージと、control メッセージや付属リモコンの制御などにより、遷移があった部分状態機械の状態通知を行う notify メッセージが挙げられる。

- inquiry
問い合わせ：家電の検索メッセージ。
- response
機器のリストを返す：検索に対する応答メッセージ。
- control
制御：家電の制御メッセージ。
- notify
通知：家電の制御を行ったことを知らせるメッセージ。

本システムとゲートウェイ間通信に用いられるメッセージフォーマットを図 6.8 に示す。

これらのメッセージを本システムゲートウェイ間でやり取りすることによって、他規格の家電を LegacyDevice と同等のものとして扱うことが可能となる。図 6.8 に示したメッセージフォーマットの各項目について、詳細を以下に示す。

- MessageType
Message がどのような内容であるかをテキストデータを用いて示す。メッセージタイプには前述の通り inquiry, response, control, notify がある。
- LDID
LegacyDevice の ID を示す。
- Appliance
LegacyDevice の機器名を示す。

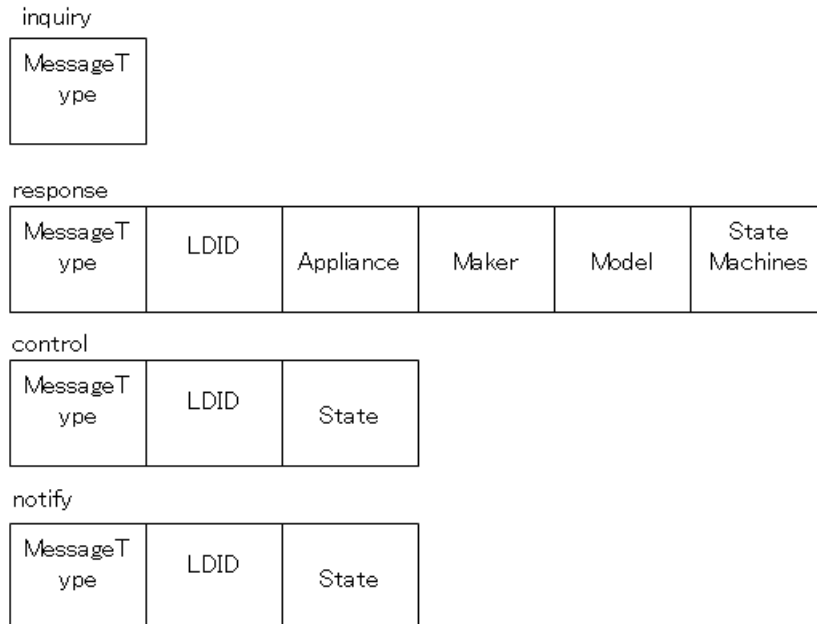


図 6.8: ゲートウェイ間通信に用いるメッセージフォーマット

- Maker
LegacyDevice のメーカー名を示す .
- Model
LegacyDevice の機種名を示す .
- State
部分状態機械の状態を示す .
- StateMachines
機器の持つ部分状態機械を示す .

6.5 manager 間シーケンス

本システム内での manager 間でのやり取りをコラボレーション図を用いて表す . コラボレーション図を記述する際 , 簡素化のため , manager 間での転送エラーなどは考慮しないものとする .

ゲートウェイからの機器の問い合わせ

図 6.9 に、ゲートウェイからの機器の問い合わせを行う際のコラボレーション図を示す。ゲートウェイからの機器の問い合わせは、ゲートウェイが LD ホームネットワークに登録されている機器情報を取得するためのものであり、ゲートウェイからの inquiry メッセージに対して、本システムが登録されている機器情報を response メッセージで返すことで行われる。

1. messagemanager は、ゲートウェイからの機器の問い合わせメッセージを受信する。
2. 受信した LD の問い合わせメッセージを eventmanager に渡す。
3. eventmanager は、問い合わせメッセージを受けて、登録されている機器のリストの取得を statemanager に要求する。
4. statemanager は、LegacyDeviceDB を参照し eventmanager に id など機器の情報を渡す。
5. eventmanager は、LD の応答メッセージを messagemanager に渡す。
6. messagemanager は、ゲートウェイにシステムに登録されている機器情報を送信する。

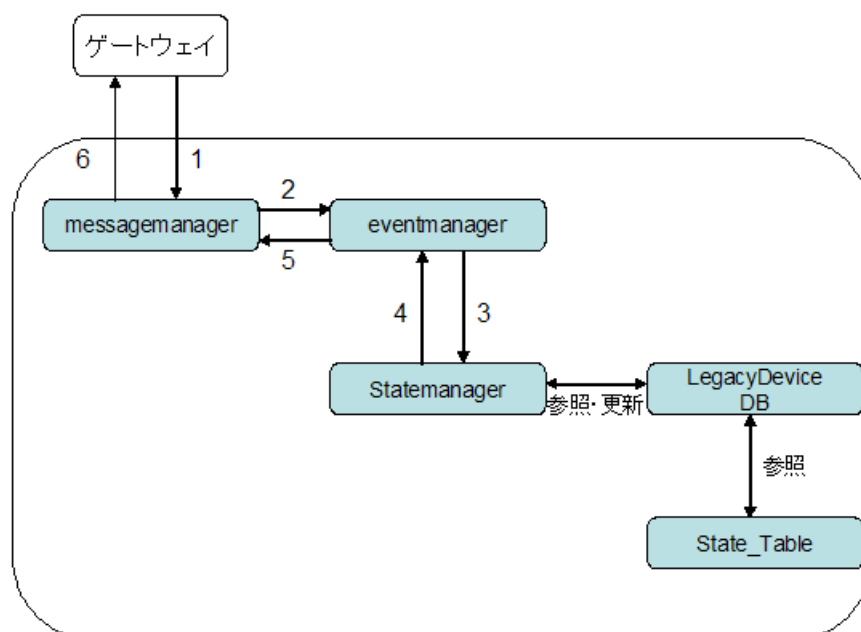


図 6.9: ゲートウェイからの機器の問い合わせ

本システムからの機器の問い合わせ

図 6.10 に、本システムからゲートウェイに対して機器の問い合わせを行う際のコラボレーション図を示す。本システムからの機器の問い合わせは、本システムがゲートウェイにより管理される他規格の家電機器の情報を取得するためのものであり、本システムからの inquiry メッセージに対して、ゲートウェイが登録されている機器情報を response メッセージで返すことで行われる。他規格の機器であっても、ゲートウェイから得られる機器情報は通常の LegacyDevice が保持する機器情報と同様であり、本システム内においては、通常の機器と同様に他規格の家電を管理する。

1. eventmanager より機器の問い合わせメッセージを messaganager に渡す。
2. messaganager はゲートウェイに対して制御メッセージを送信する
3. messaganager はゲートウェイから応答メッセージを受信する。
4. Messganager は受信した LD の応答メッセージを eventmanager に渡す。
5. eventmanager は機器の登録を statemanager に要求する。
6. statemanager は LegacyDeviceDB に id などの機器の情報を書き込む。

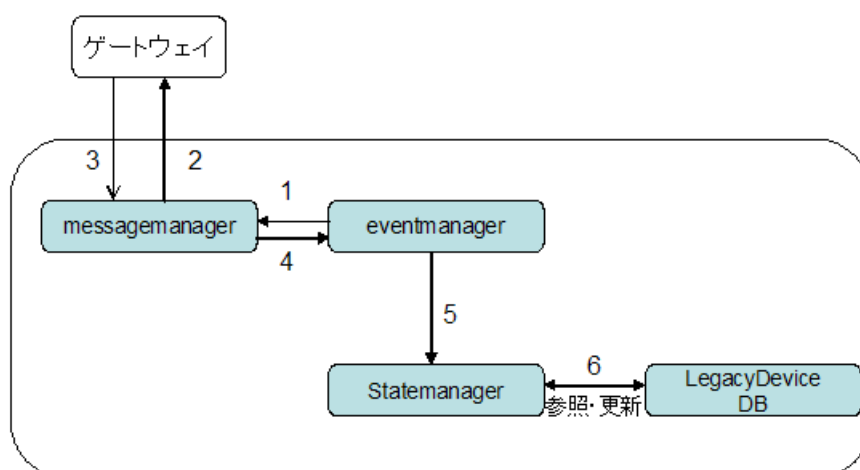


図 6.10: 本システムからの機器の問い合わせ

リモコンでの機器制御

図 6.11 に、リモコンで通常の機器制御が行われたときのコラボレーション図を示す。これは、IR センサ以外の手法で状態取得が可能な場合であり、IRsensor と他 sensor を用いて計 2 回状態取得を行っている。

1. 赤外線センサによって受信された赤外線信号を IR_DB を用いて状態情報に変換し sensorDB に書き込み、eventmanager に sensorID を渡す。
2. eventmanager は sensorID に基づいて sensorDB の状態情報を取得し、statemanager に対し、対象とする sensorID を保持する機器を、状態情報で示される遷移を行うよう要求する。
3. statemanager は、状態情報より部分状態機械の選択 (selector) を行い、LegacyDeviceDB が保持する部分状態機械の状態に基づき、状態関数を呼び出し状態遷移を行う。さらに、IR により正しく制御が行われたか確認するために、eventmanager に対し、他センサを用いた状態取得を要求する。
4. 要求を受けた eventmanager は controlmanager に対し状態取得のために必要な機器の制御を要求する。
5. controlmanager は要求に従い、切替器の制御などの処理を状態取得・処理部に要求する。
6. 状態取得・処理部では、controlmanager からの命令に従い、実際に機器制御を行い、取得した状態情報を sensorDB に入力し eventmanager に状態取得を行ったセンサの sensorID を渡す。
7. sensorID に基づいて sensorDB の状態情報を取得し、statemanager に対し状態の遷移を要求する。
8. 現在の部分状態機械の状態と、他 sensor で取得した状態情報を比較を行い、状態が異なる場合は、他 sensor の状態情報に遷移するイベントを検索して、LegacyDeviceDB の持つ部分状態機械の状態とイベント、状態関数を呼び出し状態遷移を行う。そして、GUImanager に対して GUI の更新通知を行う。
9. eventmanager に対して状態通知メッセージの発行を要求する。
10. 要求を受けた eventmanager は、状態通知メッセージを messagemanager に渡す。
11. 状態通知メッセージをゲートウェイに送信する。

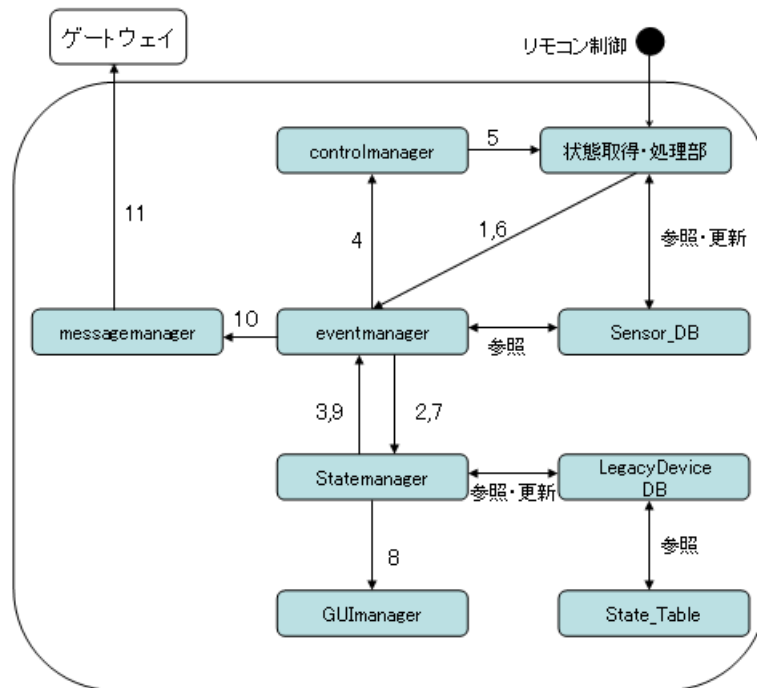


図 6.11: リモコンでの家電の制御

ゲートウェイからの機器制御

図 6.12 に、ゲートウェイから機器制御を行う際のコラボレーション図を示す。簡便化のため、図 6.11 と異なりシステム内のセンサが単体（IR センサ）の場合を想定している。

1. messagemanager は、ゲートウェイからの機器の制御メッセージを受信する。
2. messagemanager は、受信した制御メッセージを eventmanager に渡す。
3. eventmanager は、messagemanager からの制御メッセージを受け取り、制御メッセージの「state」状態に、ID で指定する機器が遷移するように、statemanager に対して適切な機器制御命令の取得を要求する。
4. statemanager は、状態情報より部分状態機械の選択 (selector) を行い、現在の状態からその状態情報に遷移するイベントを検索して eventmanager に命令を返す。
5. eventmanager は、controlmanager に対し、statemanager から取得した制御の実行および制御後の状態取得を要求する。
6. controlmanager は要求に従い、赤外線リモコンの制御などの処理を状態取得・処理部に要求する。
7. 状態取得・処理部では、controlmanager からの命令に従い、実際に機器制御を行う。そして、機器制御による状態変化を観測したセンサからの情報に基づく状態情報を sensorDB に入力し、eventmanager に観測したセンサの sensorID を渡す。
8. eventmanager は、sensorID に基づいて sensorDB の状態情報を取得し、statemanager に対し、対象とする sensorID を保持する機器を、状態情報で示される遷移を行うよう要求する。
9. statemanager は、状態情報より部分状態機械の選択 (selector) を行い、LegacyDeviceDB が保持する部分状態機械の状態に基づき、状態関数を呼び出し状態遷移を行う。そして、GUImanager に対して GUI の更新通知を行う。
10. eventmanager に対して状態通知メッセージの発行を要求する。
11. 要求を受けた eventmanager は、状態通知メッセージを messagemanager に渡す。
12. 状態通知メッセージをゲートウェイに送信する。

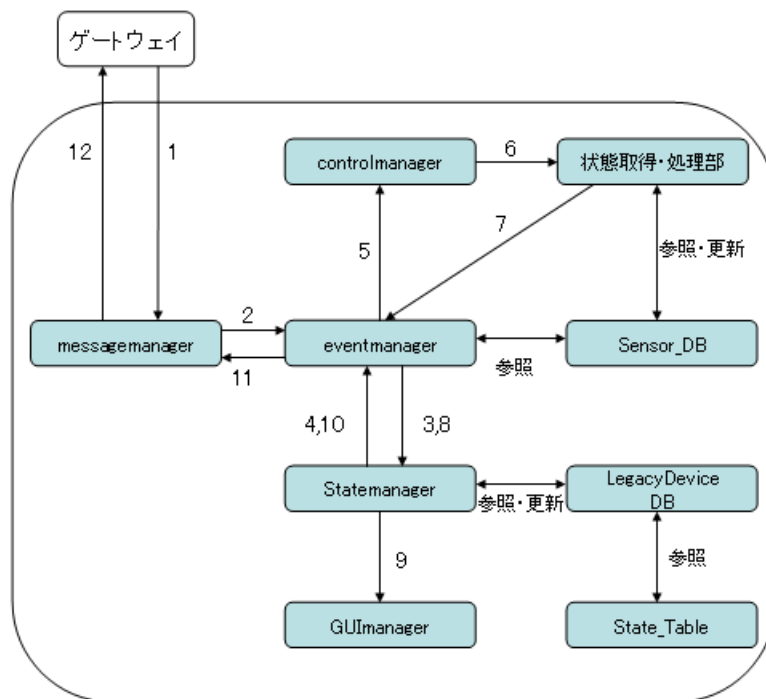


図 6.12: ゲートウェイからの機器制御

他規格機器の制御

図 6.13 に、他規格機器の制御を行う際のコラボレーション図を示す。

1. eventmanager より制御メッセージを messagemanager に渡す。
2. messagemanager は、ゲートウェイに対して制御メッセージを送信する。
3. messagemanager で、ゲートウェイからの状態通知メッセージを受信する。
4. messagemanager は、状態通知メッセージを eventmanager に渡す。
5. eventmanager は、statemanager に対しメッセージ「LDID」を持つ LegacyDevice がメッセージ「state」状態に遷移を行うよう遷移を要求する。
6. statemanager は、状態情報「state」より部分状態機械の選択 (selector) を行い、LegacyDeviceDB が保持する部分状態機械の状態に基づき、状態関数を呼び出し状態遷移を行う。そして、GUImanager に対して GUI の更新通知を行う。

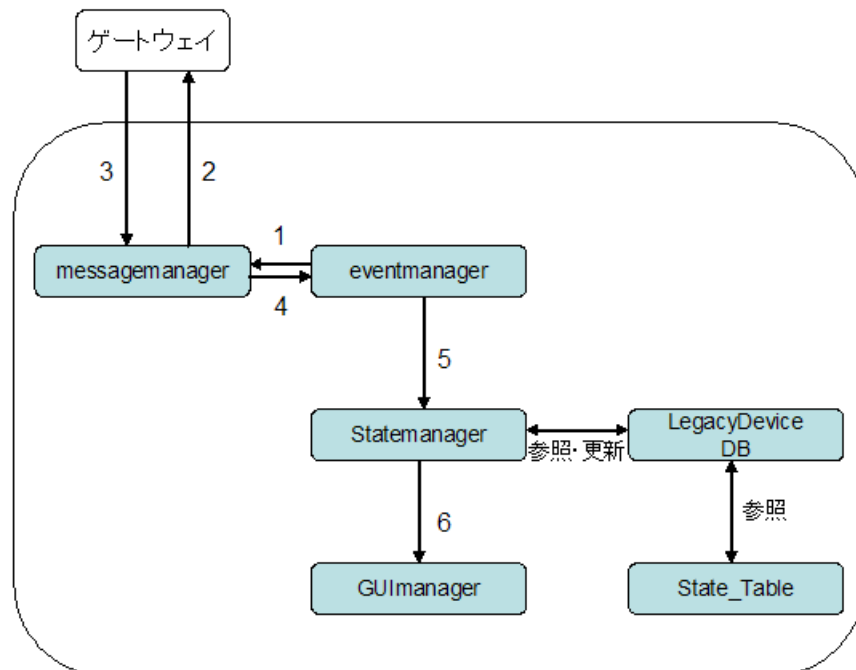


図 6.13: 他規格機器の制御

6.6 システム評価

本システムを動作させ処理時間の測定を行った。測定は、赤外線信号を受信してから、状態変化が行われるまでの時間の測定と、処理ユニット上で制御を行い、実際に赤外線信号が発せられ状態を変更するまでの時間の測定と、他規格からの制御命令を受けて、機器の制御を行い、状態変更の通知を行うまでの時間の測定の3種類を行った。制御命令は、遷移を行う部分状態機械数の異なる power (部分状態機械数: 5) と play (部分状態機械数: 1) で計測を行った。

6.6.1 測定環境

以下の環境にて測定を行った。

CPU	Intel pentium3 600MHz
Memory	256MB
OS	FedoraCore2(kernel 2.6.5-1.358)

表 6.3: 測定環境

6.6.2 状態変更にかかる時間の測定

赤外線信号をセンサで受信してから、状態変更にかかる時間を計測し、10回の平均値を求めた。表 6.4 に測定結果を示す。単体の部分状態機械の遷移にかかる時間は、0.51ms であった。また、複数の部分状態機械の遷移にかかる時間は、0.98ms であり、部分状態機械が単体の遷移に比べて、若干時間はかかるものの、そのオーバーヘッドは小さかった。どちらのイベントも平均して 1ms 以内に処理が完了しており、リモコンのボタンを押し続けたときに送出されるリピートコードが 108ms 間隔で送信されることから、機器の状態を観測するには、十分実用的なパフォーマンスと言える。

イベント	平均値 (msec)
play	0.51
power	0.98

表 6.4: 状態変更にかかる処理時間

6.6.3 制御にかかる時間の測定

処理ユニット上から機器制御を行い，赤外線信号が発せられ，信号をセンサで受信し状態が変更されるまでの時間を計測し，10回の平均値を求めた．表 6.5 に測定結果を示す．単体の部分状態機械の遷移にかかる時間は，111ms であった．また，複数の部分状態機械の遷移にかかる時間は，112ms であり，「状態変更にかかる時間の測定」と同じく，そのオーバーヘッドは小さかった．play-power どちらのイベントでも，約 112ms 以内に処理が完了しており，ホームネットワークでの機器制御において，十分高速といえる．

イベント	平均値 (msec)
play	111ms(信号送出遅延時間:100ms)
power	112ms(信号送出遅延時間:100ms)

表 6.5: 制御にかかる処理時間

6.6.4 他システムからの制御にかかる時間の測定

他システムから本システム内に設置した機器の制御を行う際に，機器の制御命令を受信し機器制御及び状態遷移を行い，他システムへの変更通知メッセージの送信までにかかる時間を計測し，10回の平均値を求めた．表 6.6 に測定結果を示す．単体の部分状態機械の遷移にかかる時間は，115ms であった．また，複数の部分状態機械の遷移にかかる時間は，116ms であり，上記 2 つの測定と同じく，そのオーバーヘッドは小さかった．play-power どちらのイベントでも，約 120ms 以内に処理が完了しており，遠隔からの機器制御にかかる時間としては，十分許容できるものといえる．

イベント	平均値 (msec)
play	115ms(信号送出遅延時間:100ms)
power	116ms(信号送出遅延時間:100ms)

表 6.6: 他システムからの制御にかかる処理時間

第7章 アプリケーション実装例

本章では，本システムに実装したアプリケーションについて述べる．実験環境を図 7.1 に示す．検証には，一台の TV と VTR，照明を用いた．複数の機器で赤外線センサを共有するためにレガシーデバイスを隣接させて実験を行った．

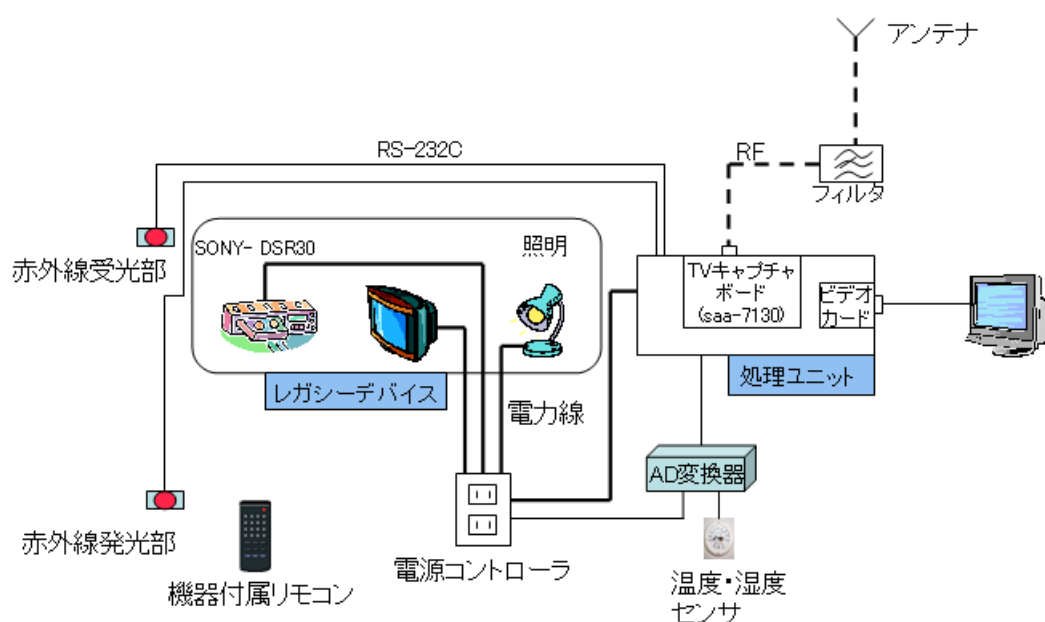


図 7.1: 実験環境

7.1 ホームオートメーション

ホームオートメーションとは，住宅内の利便性や快適性を向上させるため，家庭用機器を管理するシステムのことである．内容は，家事の効率化・自動化や安全管理，外出先からの機器制御などさまざまな分野にわたる．既存のホームネットワークで考えられているシナリオとしては，以下のようなものがある．

1. センサ機器間の連携（部屋が暗くなったら電気をつける）

2. 機器の連動動作（VTR を ON で TV も ON）

3. 防犯（テレビの音量を上げる）

本研究では，上記のシナリオをすべて実装した．

センサ機器間の連携

センサから得られたセンサ情報に連動して，機器を動作させるサービスである．実装したのは，「部屋が暗くなったら電気をつける」シナリオで，照度センサと電源コントローラで制御される照明機器を連携させ，照度値の変化に応じて，自動的に照明を切り換えを行う．電源コントローラは機器の取り外しが簡単に行えるので，照明以外の機器の電源を制御することも可能である．

機器の連動動作

リモコンなどにより機器制御を行い，ある機器の状態が，連動動作のトリガとマッチングした場合に，別な機器に対して何らかの制御を行うサービスである．実装したのは，「VTR の電源を ON にすると，TV の電源もつく」シナリオで，VTR が OFF 状態から ON 状態に遷移した際に TV が OFF 状態であった場合に，処理ユニットで制御されるリモコンを用いて，TV の電源を ON にする．連動動作のトリガを変更することで，様々な連動動作が実現できる．

防犯

機器の連動動作の 1 つであり，複数の機器を連携させることで，防犯効果を高めることを期待するサービスである．実装したのは「ランダム時間または設定時間で，TV の電源を ON にしてボリュームを上げ，それと同時に，電源コントローラを制御し，照明を ON にする」シナリオである．TV のボリュームを上げ照明をつけるといった連携動作を行い，外部に対して宅内に人がいるように強くアピールすることで，犯罪の抑止効果を高めている．

7.1.1 動作手順

利用者が本システムに実装したシナリオを利用する際の動作手順を示す．

1. 利用者が LegacyDeviceDB に機器を登録する．
2. 希望するシナリオを利用者が選択する．
3. 状態取得・処理部で取得した状態情報を eventmanager で監視する．

4. 機器の状態情報がトリガに設定した状態と一致した場合，eventmanager は，シナリオに基づいて適切な機器制御を controlmanager に指示する．
5. controlmanager が機器制御を行う．

7.2 関連システムとの比較

エヌ・ティ・ティ・ドコモで試作を行った FOMA 対応ビジュアルコントローラは，テレビ電話対応 FOMA 端末から自宅の家電製品等の遠隔操作を可能にするコントローラである．このコントローラは，PC カードスロットに FOMA データカードを挿入することで，FOMA ネットワークとの接続 (64K データ通信) が可能になるものであり，コントローラに，FOMA データカードを挿入・自宅に設置し，外出先で FOMA 端末からアクセスすると，内蔵カメラを通じて自宅の様子を映像で確認したり，プッシュボタン信号を用いて既存の家電機器を遠隔操作したりすることができる．インタフェースとしては赤外線受発光部，映像・音声入出力端子，USB ポート，人感センサ，センサ I/O ポートなどからなり，本体操作用にテンキーも備える．赤外線受発光部を利用した家電の操作では，最大 100 種類までのリモコンを学習することが可能で，照明やエアコン，TV・VTR など，赤外線リモコンを利用する機器を遠隔地から操作することが可能である．

FOMA 対応ビジュアルコントローラは，機器の操作ガイドを画面にスーパーインポーズすることが可能である．また，遠隔から家のテレビや VTR を操作し，外出先で視聴することもできる．機器や室内の様子などの状態取得には，内蔵カメラを通じて人が直接見て確認する方法をとっている．これら機能によって FOMA 対応ビジュアルコントローラを用いたホームネットワークでは，外出先にいながらその場で機器を使う感覚で機器制御を行うことが可能である．それに対して本研究では，有限状態機械を用いた状態管理とセンサ類を使った状態取得を行い，機器の状態を厳密に管理しており，人の機器制御をサポートすることを目的としている．このように，本研究が目指すホームネットワークと FOMA 対応ビジュアルコントローラを用いたホームネットワークは本質的に異なっており，本研究では，有限状態機械を用いた管理・センサ類を用いた取得方法により LD を機器資源として扱い連動動作などのサービスを実現する．

7.3 既存のホームネットワーク規格との比較

本研究で提案するホームネットワークシステムは，種々のセンサを用いることで機器の状態を取得し，本システムで中心となる処理ユニットに接続された赤外線リモコンを制御して既存の機器を操作している．赤外線信号を用いて制御可能な機器すべてを扱うことが可能であることから，対象機器には Legacy Device だけではなく，赤外線により制御が可能なネットワーク家電も含まれる．それに対して，既存のホームネットワーク規格では，規格に対応した機器の新規購入が必要で，既存の機器を利用することは不可能である．

以上のような制御可能な機器の違いとそれに基づく導入コストの違いを踏まえた上で、現在市販されている各社ホームネットワークで現在実現しているサービスと、本研究で提案するシステムを用いて実現または実現可能なサービスの比較を行う。既存のホームネットワーク規格は、現在販売されているシステムで実現可能なサービスに基づいて評価を行っており、新たな機器やサービスが追加された場合、評価は変化すると考えられる。以下に示す評価項目によって評価を行った。

- 防犯・見守りサービス

- － センサによる異常発生自動通報: 宅内の人感センサにより一定時間動きが検出できない場合など、肉親などに自動的に通知する。
- － 手動操作による異常発生通報: 宅内において緊急事態が発生した場合、非常ボタンを押して携帯電話などに異常を知らせる。
- － 異常発生時の状況確認: 異常発生時の自動通報を行い、宅内の情報を入手する。

- 遠隔・機器制御

- － 機器制御履歴を用いたエージェント機能: 連動させる機器を設定する、ユーザの行動を機器制御履歴から把握するなどして、ある動作を伝えるだけでいつもと同じようなパターンで複数機器の制御を行う。
- － 機器の連動動作: 機器を設定条件に従って連携して動作させる。
- － 外部からの手動制御: 携帯電話のブラウザ機能を用いて、宅内の機器制御・監視を行う

- 省エネサービス

- － センサによる自動省エネ: センサによって人が不在である部屋の機器の消費電力を自動的に抑える。
- － 機器の動作履歴による省エネ: 冷蔵庫の開け閉めなど機器の動作履歴より節電のポイントなどを確認する。

- 故障診断機能

- － 機器やセンサに故障が起きたら自分診断して故障原因を知らせる。

- 家事手伝いサービス

- － レシピ・動作プログラム配信: ホームゲートウェイや機器などに調理レシピや動作プログラムのダウンロードを行う。
- － 食材管理: 冷蔵庫の食材管理を行う。

評価の結果，本研究で構築を行った状態取得・管理手法を基にしたLD ホームネットワークでは，ネットワーク家電機器を用いる既存のホームネットワークとほぼ同等のサービスが実現または実現可能であることがわかった．既存のホームネットワークと比較して，家事手伝いサービスのレシピ・動作プログラム配信では料理レシピの確認など一部機能の動作に留まっている．これは，現状赤外線信号を用いた制御では，洗濯機や電子レンジなどの動作モードなどの設定は可能であるが，それ以降の機器の動作を細かく制御できないためである．例えば，赤外線信号を用いて洗濯機のモード指定は行えるが，モードの動作内容自体を細かく制御することはできない．将来，赤外線信号を用いて機器の動作を細かく制御可能になるか，多くの機種に適応可能かつ容易なハード改造手法が実現すれば，家事手伝いサービスのすべてのサービスが実現可能になると考えられる．

サービス分類	サービス	提案システム	フェミニティ	ホラソネットワーク	くらしネット
防犯・見守りサービス	センサによる異常発生自動通報	センサ情報を監視し、安否確認・生活リズム確認	安否確認	生活リズム確認	見守り安心
	手動操作による異常発生通報	処理ユニットから緊急コール			緊急コールリモコン、家中コール
	異常発生時の状況確認	センサ情報を監視し、メール通知	異常お知らせメール	異常お知らせメール	異常お知らせ電話
遠隔・機器制御	機器制御履歴を用いたエージェント機能	制御情報などを蓄積			
	機器の連動動作	機器の状態をトリガにして設定		グループワントッチ操作、オリジナル動作設定	グループ操作
	外部からの手動制御	IR リモコンを用いて対象機器のすべての遠隔制御が可能		照明操作、エアコンの動作、風呂自動運転・停止、洗濯乾燥機予約時間の変更	エアコンの動作、風呂自動運転・停止、洗濯乾燥機予約時間の変更

表 7.1: サービス比較 (1)

省エネサービス	センサによる自動省エネ	人感センサなどリモコンの連携			
	機器の動作履歴による省エネ	ドアセンサ・電力センサなどを利用して開閉回数や使用電力量を表示	ドアの開閉回数や使用電力量の目安を表示	ドアの開閉回数や使用電力量の目安を表示	ドアの開閉回数や使用電力量の目安を表示
故障診断機能	機器故障や異常の通知	LD やセンサの動作状態による診断	機器故障や異常のお知らせ	機器故障や異常のお知らせ	機器故障や異常のお知らせ
家事手伝いサービス	レシピ・動作プログラム配信	インターネットからの調理レシピダウンロード	専用サーバからの調理レシピダウンロード, ランドリーサービス	専用サーバからの調理レシピダウンロード, ランドリーサービス	専用サーバからの調理レシピダウンロード, ランドリーサービス
	食材管理	庫内状況のモニタ	庫内状況のモニタ	庫内状況のモニタ	庫内状況のモニタ

表 7.2: サービス比較 (2)

第8章 終わりに

8.1 今後の課題

8.1.1 状態取得方法の検討

本研究では、2種類の方法にわけて状態取得を行った。機種やメーカー別依存性に対応するために提案した識別用信号を用いた能動的状态取得方法は、方法が大がかりなものとなったわりには、取得可能な情報は少なかった。元々、LegacyDevice が外部に対して状態を通知することを考えて作られていないため、手法がおおがかりになるのは致し方ない面はあるが、家庭内で利用を考えると、より簡単で機種・メーカーなど違いにかかわらず状態取得が可能な、統一的な状態取得方法を構築することが必要となる。例えば、機器の消費電力などから特徴量を計算し、機器の状態取得を行う方法などが考えられる。

8.1.2 例外・障害発生時の対応

本研究では例外制御や障害発生時に、カメラセンサなどが存在しなかった場合は、イベント exception を用いてリカバリ設定状態に遷移することで、実機の状態と部分状態機械の状態が乖離することを防止している。しかし、この方法は電源の ON/OFF を伴う場合があり、VTR の一部機種によっては予約録画などがキャンセルされる可能性がある。また、リカバリ設定状態に機器を自動的に制御するため、人に与える影響も大きい。よって、今後メニュー操作や予約録画などを含んだ LD のモデル化手法を構築する必要がある。

8.1.3 センサ情報の蓄積

本研究で利用するセンサ情報は、一定時間で更新される最新のセンサ情報であり、過去のセンサ情報の蓄積を行っていない。センサ情報の蓄積を行うことで、過去のセンサ情報とユーザの制御情報を元にして、ユーザの嗜好に合わせた制御を自動で行うといったサービスが可能となる。以上のようなサービスを実現するための、データの蓄積方法や、ユーザの嗜好の判別方法などを構築する必要がある。

8.1.4 センサの位置

本研究では、一意に設定したセンサ ID を利用してセンサ情報を取得しており、センサ情報を利用する機器やアプリケーションが、機器やセンサの位置情報などを元にして動的にセンサを判断して、必要な情報を得ることはない。そのため、機器やセンサの位置を変更する場合、再度センサの登録を行う必要があり、利用者にかかる負担は少なくない。また、アイロンやドライヤーなど位置が固定的でない機器の場合、センサを機器に固定的に接続しない限り、状態取得は不可能である。このような問題に対応するために、センサの設置されている位置情報を元にして、機器制御を行う方法などが考えられ、位置情報の取得方法やセンサの管理方法などを構築する必要がある。

8.1.5 サービスの競合

本研究では、防犯サービスなど様々なサービスを実装したが、サービスを実行する際には、サービスと人及びサービス間での競合を考慮する必要がある。例えば、あるユーザ A が宅外から防犯サービスを実行しているときに、別なユーザ B が帰宅し TV のボリューム下げ、リビングで仮眠をとっていたとする。この時、設定時刻またはランダム時刻で防犯サービスが作動し、TV のボリュームを上げる動作が行われた場合、仮眠しているユーザ B とサービスとの競合が発生する。このような問題の解決方法として、新たに人感センサなどを配置して、ある条件でサービスを動的に停止させることが考えられる。また、複数の連係動作が導入されると、連携動作同士で干渉を起こし、ユーザの希望通りの動作が行えない可能性があり、このような競合を検出する方法を構築する必要がある。

8.2 本論文のまとめ

本研究では、ネットワーク接続機能を備えてない既存の家電機器である LegacyDevice をネットワーク家電と同様に扱うための、有限状態機械を用いた LegacyDevice の管理方法と、種々のセンサや識別用信号を用いた LegacyDevice の状態の取得方法の提案を行い、これを実現するためのホームネットワークシステムの設計、実装、評価を行った。本研究では、赤外線制御が可能な従来の家電機器を対象としており、ネットワーク家電のみを対象とした既存のホームネットワーク規格を構築する際にネックとなる機器の買い換えが必要ない。

本研究では、LegacyDevice を複数の部分状態機械からなる複合状態機械ととらえ、状態機械に対する入力である赤外線信号や温度・湿度などの捕捉を行うセンサを設置することにより、LegacyDevice の内部状態を捕捉して、機器の持つ情報を管理する。機種やメーカーごとの状態遷移に関する依存性に対応するために、フィルタなどを用いて発生させた、識別用信号の識別を行うノイズ識別手法を用いた能動的状態取得方法と、有限状態機械を表す状態遷移表を書き換える自動遷移表書換シーケンスを構築する。依存性に対応し

た遷移表をあらかじめ複数種類定義することで、自動遷移表書換シーケンスの実行時間の長大化を防止し、機器導入の際の労力を軽減する。

実装されたシステムを用いて、提案するモデル化手法によって実機の状態と機器の機能をモデル化した部分状態機械の状態が一致していることを確認し、自動遷移表書換シーケンスの実行により、依存性を除去した状態遷移表が作成されたことを示した。また、試作したフィルタを用いて実際のTV画像を用いてノイズ識別を行い、機器、メーカーによらない状態取得が可能なことを示した。さらに、提案するシステムの状態変更や制御にかかる処理時間を測定し、十分なパフォーマンスを持つことを示した。最後に本システムと既存のホームネットワーク規格で実現可能なサービス比較を行い、本システムの優位性を示した。

謝辞

本研究を進めるにあたり，終始熱心な御指導，御鞭撻を賜りました指導教官である丹康雄助教授に深く感謝致します．

また，中田潤也氏と牧野義樹氏をはじめとする丹研究室の皆様に感謝致します．特に，同じ研究グループ（家電班）として多方面にわたって相談に乗って頂いた浜本賢一氏に感謝致します．また，あらゆる形でご協力をいただき，励まし合ってきた白井研究室仮配属の皆様には深い感謝の意を示します

最後に，私を支えてくれた多くの友人，そして家族に感謝し，謝辞と致します．

参考文献

- [1] 松崎 寛之, 丹 康雄, “レガシーデバイスによるホームネットワーク構築のための AV 機器状態取得方法の提案”, 平成 16 年度電気関係学会北陸支部連合大会.
- [2] 浜本 賢一, “ホームネットワーク規格との接続性を考慮した LegacyDevice ホームネットワークの構築に関する研究” 北陸先端科学技術大学院大学修士論文, 2004.
- [3] 浜本 賢一, 丹 康雄, “各種ホームネットワーク規格との接続性を考慮した LegacyDevice ホームネットワークの構築に関する研究” 平成 16 年度電気関係学会北陸支部連合大会.
- [4] 丹 康雄 監修, 宅内情報通信・放送高度化フォーラム 編, ユビキタス技術 ホームネットワークと情報家電, オーム社, 2004.
- [5] 石井 智康, “LegacyDevice を中心としたホームネットワークに関する研究” 北陸先端科学技術大学院大学修士論文, 2002.
- [6] HAVi, <http://www.havi.org>
- [7] ECHONET, “ECHONET CONSORTIMU”, <http://www.echonet.gr.jp>
- [8] AV/C Digital Interface Command Set General Specification version 2.0.1, 1998.
- [9] 松井 邦彦, センサ応用回路の設計・製作, CQ 出版社, 1990.
- [10] 遠坂 俊昭, PLL 回路の設計と応用—ループ・フィルタ定数の算出方法とその検証, CQ 出版, 2003.
- [11] LC フィルタの設計&製作, 森 栄二, CQ 出版, 2001.
- [12] 日本放送協会編 NHK カラーテレビ受信技術, 日本放送協会出版協会, 1979.
- [13] 森 英二, マイクロウェーブ技術入門講座, CQ 出版社, 2003.
- [14] 田村 秀行, コンピュータ画像処理入門, 総研出版, 1985.
- [15] 長尾 智晴, 安居院 猛, 画像の処理と認識, 昭晃堂, 1992.
- [16] 井上誠喜, 八木伸行, 林 正樹, 中須栄輔, 三谷公二, 奥井誠人, C 言語で学ぶ実践画像処理, オーム社, 1999.

- [17] Tomcatworks , <http://www.interline.or.jp/tomcat/index2.html>
- [18] トランジスタ技術 11 月号, CQ 出版社, 1996 .
- [19] トランジスタ技術 11 月号, CQ 出版社, 1997 .
- [20] トランジスタ技術 7 月号, CQ 出版社, 2004.
- [21] トランジスタ技術 10 月号, CQ 出版社, 2004.

付 録 A 電源コントローラ

TTL レベルの信号で、AC 電源を ON/OFF する SSR(ソリッドステートリレー) を使ったコントローラを実装した。フォトトライアックによって、制御入力側と出力側は完全にアイソレートされており、ノイズの発生は最小となる。入力電圧 DC3v ~ 8v で作動する。

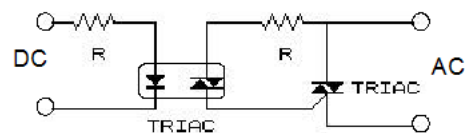


図 A.1: 回路図

使用した部品の簡単な仕様を以下に示す。

- MOC3041M(フォトトライアック)
- ゼロクロス (交流電圧が 0V のとき ON/OFF)
- 入力 (制御) 電圧 DC3 ~ 8V(max24v)
- 8pinDIP(ANODE/CATHODE/NC/MAINTERM/NC/MAINTERM)
- TMG20C60F(トライアック)
- 20A までコントロール (トライアック温度 40 度以下)

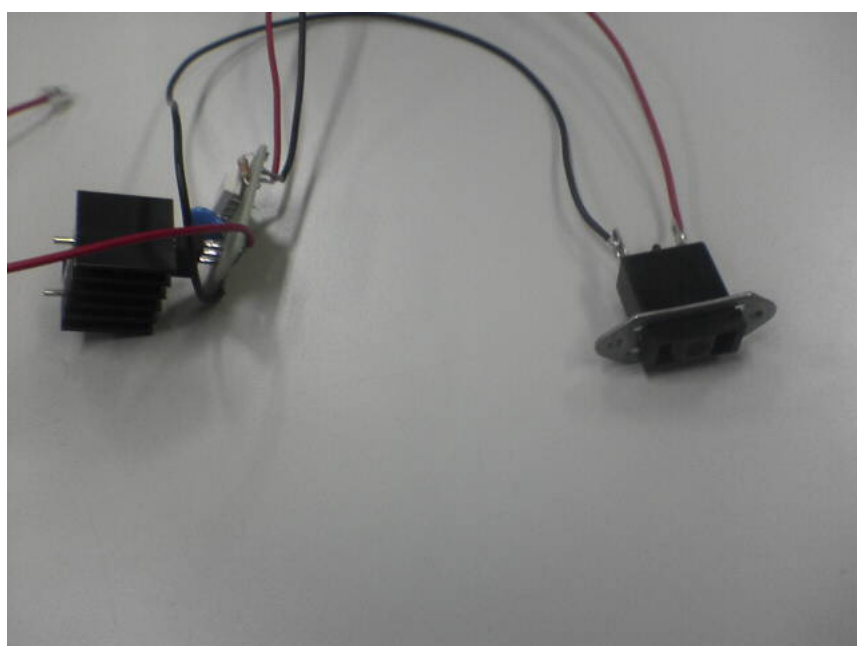


図 A.2: 実装の様子

付 録 B 回路

B.1 赤外線発光部

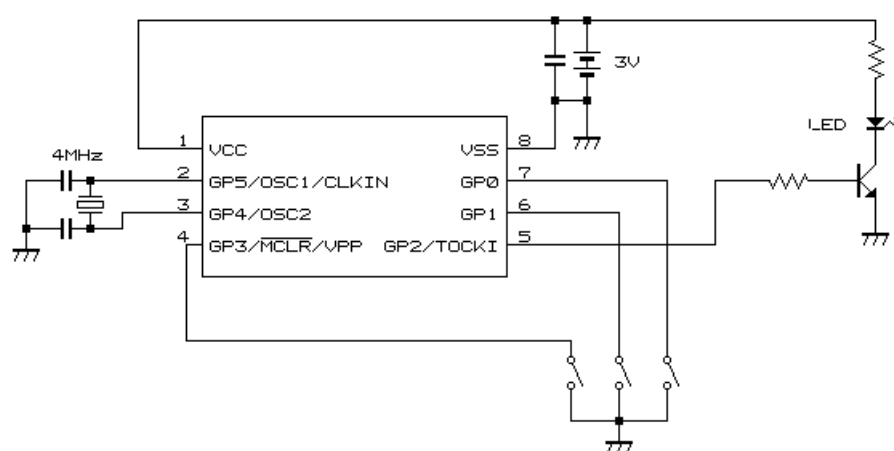


図 B.1: 赤外線発光部の回路例

B.2 赤外線受光部例

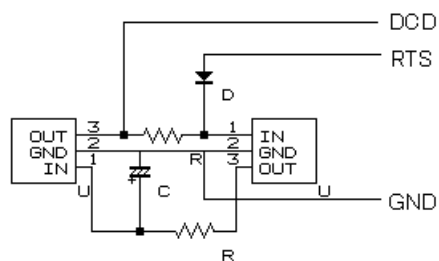


図 B.2: 赤外線受光部の回路例

B.2.1 測定

本研究では，赤外線センサ以外の他センサについて実装を行い，A/D 変換器を介して処理ユニットにデータを入力し測定を行っている．A/D 変換器には，PIC16F877 を利用している．最大 20MHz の発振子を使うことで，1 命令単位 0.2 μ sec で処理が可能である．PIC16F877 の 10 ビット A/D 変換は，逐次変換方式で 10 ビット分解能を持ち，A/D 変換の実行を行うため，電荷を蓄えるのに約 20 μ sec の時間がかかる．

湿度計

湿度とは空気の乾湿の度合いを表すもので，一般的に湿度と言えば相対湿度の事を指す．他にも相対湿度，絶対湿度，比湿，露点温度などが湿度に関係する指標になっており，用途や目的に応じて用いられている．相対湿度計は，測定する場所の温度における飽和水蒸気圧を 100 とした場合に，気体中にある水蒸気圧を百分率で表したもので，単位は湿度という一つのものを表すためにいくつもの表現方法が平行して使われており，温度や気圧に比べて湿度の取り扱いが難しい．本研究で使用する湿度センサーは，CHS シリーズという高分子型センサーである．CHS シリーズは，センサー駆動回路，リニアライズ回路，温度補償回路などがユニット化されており，電源として 5V を加えると，湿度が 100 % のときに校正された 1V の出力が得られる．

照度計

照度とは単位面積あたりに入射する光束で，単位はルーメン/ m^2 が考えられるが，光束発散度（単位面積あたりに発散される放射パワー）の単位と同じになって紛らわしいので，ルクスを使用する．本研究では，高感度のシリコンフォトダイオード BS520 を使用し，広範囲の照度を測定可能である．フルスケールは，200mV 出力で，メータを 200mV として電圧計を直接使用すれば，アナログ照度計として利用することができる．測定範囲は 1lx ~ 10000lx(レンジ切替) である．以下に測定結果を示す．図 B.3 の中間付近で照度値が上昇しており，これはセンサ近くで照明を ON にしたためである．素子にフォトダイオードを利用したことから，応答速度が早く広いレンジの照度の測定が可能であり，照明の ON/OFF だけではなく，カーテンやブラインドの開閉など照度値の変化が小さい状態の変化を捕捉することも可能である．

温度センサおよび湿度センサを研究室に設置した測定結果を以下に示す．

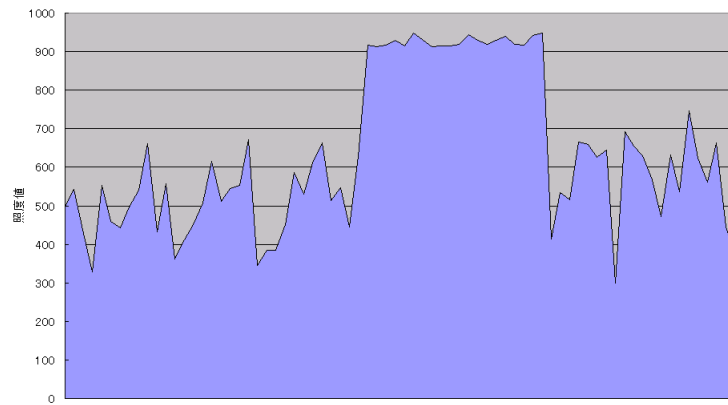


図 B.3: 測定結果-照度値

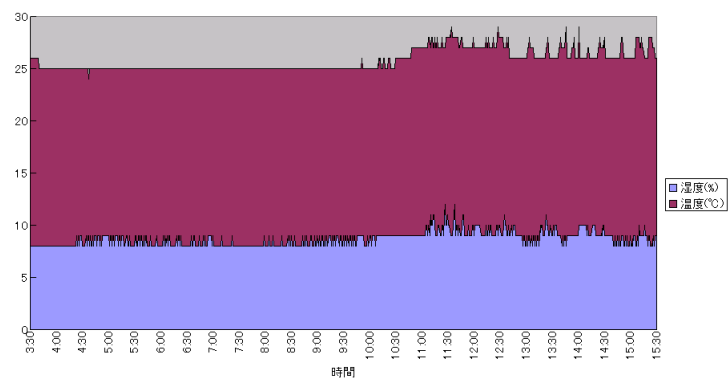


図 B.4: 測定結果-温度値及び湿度値

付 録 C 赤外線センサの配置

AV 機器クラスでは、VTR と TV や、DVD と TV などのように AV 機器同士が連携してサービスを提供するため、一般に機器が隣接していることが多く、センサを複数の機器で共有することが可能である。複数の機器で赤外線センサを共有する場合、センサの配置が問題となる。なぜなら、赤外線信号が到達する距離と角度は決まっており、複数の機器に対する信号を、複数の機器で共有するセンサ単体で、すべて受信可能とは限らないためである。図 C.1 の右側の配置では、VTR は赤外線信号が受信できないため、機器制御は行われないが、設置したセンサでは赤外線信号が受信可能なため、実際には制御が行われていないにもかかわらず、制御が行われたと処理ユニットで判断してしまう。図 C.1 の左側の配置では、複数の機器が近い位置にあり、どちらの機器でも等しく信号が受信できるので、そのようなことが生じることはない。

以上の例は、複数の機器でセンサを共有する場合であり、エアコンなど機器単体でサービスを提供するような機器の場合、他の機器と隣接していることが少なく、センサを機器単体で占有することが多い。機器単体でセンサを占有する場合は、機器センサ部の近くに赤外線センサを設置すれば良く、上記の様な問題が生じることはない。

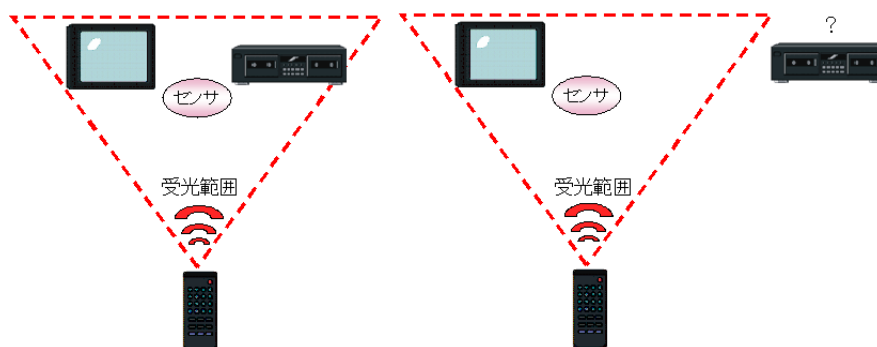


図 C.1: 受光範囲

以上の様に、センサの配置が、状態を正しく取得する上で重要な要素となっており、センサの配置を適切に行わなかった場合、システムで捕捉している状態と、実際の機器の状態が異なるといった問題が生じてしまうことが分かった。特に、複数機器でセンサを共有する場合に、このような問題が起きる可能性が高いと考えられる。

よって、本測定は、複数機器の信号をセンサ単体で受信する環境で、赤外線リモコンの位置を a 地点、b 地点、c 地点の 3 つに分け、センサからの距離が 3m、6m の場合に、赤

外線信号が機器側とセンサ側の両方で正しく受信可能かどうか，センサの位置を変えて測定を行った．家庭内での利用を想定しているため，蛍光灯などの外来ノイズの含まれる障害物のない環境にて測定を行う．

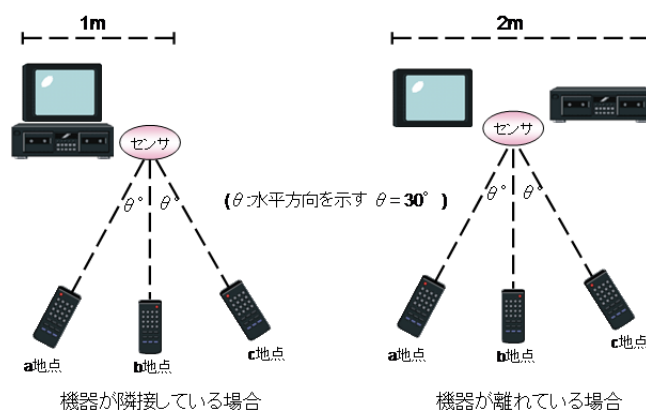


図 C.2: 実験環境

実験で使用したリモコンは，市販されているリモコンや，機器付属のリモコンと仕様上の違いは少なく，家庭内で通常使用しているリモコンについても，本実験により得られた結果と同様の結果が得られると考えられる．本研究で使用した赤外線リモコンの仕様を以下に示す．

赤外線有効距離	最大約7メートル
赤外線照射角度	リモコン信号発光部より最大30度

表 C.1: 赤外線リモコン仕様

表 C.2～C.5 に示すとおり，どの位置にセンサを配置しても問題なく赤外線信号が受信できた．これは，赤外線センサの受光範囲が約6mであり，赤外線リモコンの有効距離が約7mであることから，今回実験した距離は，信号を受信するのに十分な距離であったためと考えられる．センサ位置を変えた場合についても同様に，リモコンの発光部より30度内に赤外線信号が発せられることから，受信可能な範囲だったと考えられる．

	TV	VTR	センサ		TV	VTR	センサ
a	100%	100%	100%	a	100%	100%	100%
b	100%	100%	100%	b	100%	100%	100%
c	100%	100%	100%	c	100%	100%	100%

表 C.2: 距離 3m-機器が隣接している場合

表 C.3: 距離 3m-機器が離れている場合

	TV	VTR	センサ		TV	VTR	センサ
a	100%	100%	100%	a	100%	100%	100%
b	100%	100%	100%	b	100%	100%	100%
c	100%	100%	100%	c	100%	100%	100%

表 C.4: 距離 6m-機器が隣接している場合

表 C.5: 距離 6m-機器が離れている場合

付 録 D 機器のコスト

本研究では，機器の状態を取得するために複数のセンサを用いており，その設置コストによって，システム導入の際にかかるコストは大きく変動する．そこで，参考としておおよそのコストについて調査を行った．本研究で調査した費用は，あくまでも部品単品での価格であることを明記しておく．

表 D.1～表 D.7 にセンサやフィルタなどのおおよそのコストを示す．システムを構築する際に，最低限必要になるものとして，ある程度の処理能力をもつ PC，赤外線受光部，赤外線発光部が挙げられる．以上の機器を用いることで，使用できる機能などは制限されるが基本的なサービスは提供することができる．

処理ユニットは，家庭内の PC を流用することが可能である．赤外線の受光器は，処理ユニット上で赤外線信号の解析を行うことで，290 円程度で安価に作成することができる．同様に赤外線の発光器も 440 円程度で作成可能である．よって，本システムを用いることで，非常に安価にホームネットワークシステムが構築可能となる．

部品名	備考	個数	単価 (円)	合計
チップコイル		3	10	30
チップ抵抗		3	10	30
コネクタ		3	168	504
金属ケース		1	399	399
				963

表 D.1: フィルタのコスト

部品名	備考	個数	単価 (円)	合計
フォトトライアック	MOC3041M	1	200	200
トライアック	TMG20C60F	1	150	150
抵抗		2	10	20
ノイズ吸収素子	07D151K	1	100	100
				470

表 D.2: 電源コントローラのコスト

部品名	備考	個数	単価 (円)	合計
赤外線受光モジュール	CRVP1738	1	150	150
3 端子レギュレータ	78L05	1	100	100
抵抗		2	10	20
電解コンデンサ		1	10	10
ダイオード		1	10	10
				290

表 D.3: 赤外線受光器のコスト

部品名	備考	個数	単価 (円)	合計
LED		1	10	10
IC		1	100	100
発振器		1	100	100
コンデンサ		3	10	30
抵抗		1	100	100
トランジスタ		1	20	100
				440

表 D.4: 赤外線発光器のコスト

部品名	備考	個数	単価 (円)	合計
フォトダイオード	BS520	1	50	50
アンプ	NJM072D	1	100	100
抵抗		10	10	100
コンデンサ		1	10	10
電解コンデンサ		4	10	40
				300

表 D.5: 照度センサのコスト

部品名	備考	個数	単価 (円)	合計
温度センサ	LM35DZ	1	50	50
アンプ	LM358	1	100	100
抵抗		3	10	30
				180

表 D.6: 温度センサのコスト

部品名	備考	個数	単価 (円)	合計
湿度センサ	CHS-UGS	1	100	100
アンプ	LM358	1	100	100
抵抗		3	10	30
				230

表 D.7: 湿度センサのコスト

付 録 E 部分状態機械-状態遷移表

E.1 power

状態 \ 入力	pow	pow-link	τ (time)
pow-on	pow-off	cut	pow-off
pow-off	pow-on	cut	
cut	cut	pow-off	

表 E.1: POWER 部分状態機械

E.2 aux

状態 \ 入力	line-x	line	pow	τ (time)	τ (exception)
line0	line-x	line1	off_line0	off_line0	line0
line1	line-x	line0	off_line1	off_line1	line0
off_line0	off_line0		off_line0		
off_line1	off_line1		off_line1		

表 E.2: AUX 部分状態機械

E.3 tuner

入力 状態	ch-x	ch-up	ch-down	pow	τ (time)	τ (exception)
1	ch-x	2	1	off_ch1	off_ch1	1
2	ch-x	3	1	off_ch2	off_ch2	1
3	ch-x	4	2	off_ch3	off_ch3	1
...	...	...	...	...	...	...
11	ch-x	12	10	off_ch11	off_ch11	1
12	ch-x	12	11	off_ch12	off_ch12	1
off_ch1	off_ch1	off_ch1	off_ch1	ch1		
off_ch2	off_ch2	off_ch2	off_ch2	ch2		
off_ch3	off_ch3	off_ch3	off_ch3	ch3		
...	...	...	...	...		
off_ch11	off_ch11	off_ch11	off_ch11	ch11		
off_ch12	off_ch12	off_ch12	off_ch12	ch12		

表 E.3: TUNER 部分状態機械

E.4 amp

状態 \ 入力	vol-x	vol-up	vol-down	pow	τ (time)	τ (exception)
0	vol-x	1	0	off_vol0	off_vol0	0
1	vol-x	2	0	off_vol1	off_vol1	0
2	vol-x	3	1	off_vol2	off_vol2	0
...	...	...	...	...	...	...
19	vol-x	20	18	off_vol19	off_vol19	0
20	vol-x	20	19	off_vol20	off_vol20	0
off_vol0	off_vol0	off_vol0	off_vol0	0		
off_vol1	off_vol1	off_vol1	off_vol1	1		
off_vol2	off_vol2	off_vol2	off_vol2	2		
...	...	...	...	...	...	
off_vol19	off_vol19	off_vol19	off_vol19	19		
off_vol20	off_vol20	off_vol20	off_vol20	20		

表 E.4: AMP 部分状態機械

E.5 player/recorder

状態 \ 入力	pow	play	rew	ff	stop	rec	pause
stop	off	play	rew	ff	stop	rec	stop
play	off	play	play-rew	play-ff	stop	play	play-pause
rew	off	play	play-rew	ff	stop	rew	rew
play-rew							
ff	off	play	rew	play-ff	stop	ff	ff
play-ff							
rec	off	rec	rec	rec	stop	rec	rec-pause
rec-pause	off		rec-pause	rec-pause	stop	rec-pause	rec
play-pause	off		play-pause-rew	play-pasue-ff	stop	rec-pause	play
play-pause-rew							
play-pasue-ff							
off	stop	off	off	off	off	off	off

表 E.5: PLAYER/RECORDER 部分状態機械 (1)

τ (action)	τ (media)	τ (time)	τ (exception)
		off	stop
	stop		stop
	stop		stop
play	stop		stop
	stop		stop
play	stop		stop
	stop		stop
		stop	stop
		stop	stop
play-pause	stop		stop
play-pause	stop		stop

表 E.6: PLAYER/RECORDER 部分狀態機械 (2)

E.6 openclose

状態 \ 入力	Open	Close	pow
Open	Open	Close	off_open
Close	Open	Close	off_close
off_open	off_open	off_open	open
off_close	off_close	off_close	close

表 E.7: OPENCLOSE 部分状態機械

E.7 mode

E.7.1 angle

状態 \ 入力	mode_change-a	pow
l-angle	m-angle	off_l-angle
m-angle	s-angle	off_m-angle
s-angle	l-angle	off_s-angle
off_l-angle	off_l-angle	l-angle
off_m-angle	off_m-angle	m-angle
off_s-angle	off_s-angle	s-angle

表 E.8: ANGLE 部分状態機械

E.7.2 drive

状態 \ 入力	mode_change-o	cool	hot	dri	pow
auto	cool	cool	hot	dri	off_auto
cool	hot	cool	hot	dri	off_cool
hot	dri	cool	hot	dri	off_hot
dri	auto	cool	hot	dri	off_dri
off_auto	off_auto	off_cool	off_hot	off_dri	auto
off_cool	off_cool	off_cool	off_hot	off_dri	cool
off_hot	off_hot	off_cool	off_hot	off_dri	hot
off_dri	off_dri	off_cool	off_hot	off_dri	dri

表 E.9: DRIVE 部分状態機械

E.7.3 wind

入力 状態	mode_change-m	middle	heavy	light	pow
light	middle	middle	heavy	light	off_light
middle	heavy	middle	heavy	light	off_middle
heavy	light	middle	heavy	light	off_heavy
off_light	off_light	off_middle	off_heavy	off_light	light
off_middle	off_middle	off_middle	off_heavy	off_light	middle
off_heavy	off_heavy	off_middle	off_heavy	off_light	heavy

表 E.10: MODE 部分状態機械

E.8 environment

E.8.1 humid

状態 \ 入力	Humid-down	Humid-up	Humid-x	pow
1	1	2	x	off_1
2	1	3	x	off_2
3	2	4	x	off_3
4	3	4	x	off_4
off_1	off_1	off_1	off_1	1
off_2	off_2	off_2	off_2	2
off_3	off_3	off_3	off_3	3
off_4	off_4	off_4	off_4	4

表 E.11: HUMID 部分状態機械

E.8.2 illumination

状態 \ 入力	illumination-down	illumination-up	illumination-x	pow
1	1	2	x	off_1
2	1	3	x	off_2
3	2	4	x	off_3
4	3	4	x	off_4
off_1	off_1	off_1	off_1	1
off_2	off_2	off_2	off_2	2
off_3	off_3	off_3	off_3	3
off_4	off_4	off_4	off_4	4

表 E.12: ILLUMINATION 部分状態機械

E.8.3 temp

状態 \ 入力	Temp-down	Temp-up	Temp-x	pow
18	18	19	x	off-18
19	18	20	x	off-19
20	19	21	x	off-20
...	...	...	...	...
29	28	30	x	off-29
30	29	30	x	off-30
off-18	off-18	off-18	off-18	18
off-19	off-19	off-19	off-19	19
off-20	off-20	off-20	off-20	20
...	...	...	...	...
off-29	off-29	off-29	off-29	29
off-30	off-30	off-30	off-30	30

表 E.13: TEMP 部分狀態機械