

# スマートハウスでの天井通知システムの構成と実装

櫻井 爽太郎<sup>1,a)</sup> 平井 重行<sup>2,b)</sup>

**概要：**スマートな住宅環境での一手法として、プロジェクタを用いて天井を情報化ディスプレイとして用い、日常生活での家電・インターネットサービス等の視覚的な通知を行うシステムを提案している [1][2]。これは宅内でスマートフォンなどの携帯端末を持ち歩くわけではない環境で、通知元との距離や複数の通知の発生によって、ユーザが通知に気付かなかったり、忘れてしまったりする中、天井を活用し、音だけでなく視覚的な表現で通知を行うものである。本稿では、そのシステム構成と実装の概要について述べる。

## 1. はじめに

住宅での日常生活では、電子レンジや洗濯機などの家電や給湯暖房機などの報知音、インターフォンの呼び出し音などによるイベント通知が溢れている。これらの通知は宅内の離れた場所にいると聞こえない場合があるほか、複数同時に発生した通知などは忘れてしまう場合がある。スマートフォンなどのモバイル端末や、メガネ型、リストバンド型などのウェアラブル端末で通知する方法もあるが、常に身につけているとは限らない。高村らは、天井を情報ディスプレイとして通知を表示するシステムを提案している [1][2]。これは宅内で発生したイベントを報知音などの聴覚的な通知と共に、プロジェクタなどを用いて天井に投影することで、アニメーション表示による視覚的な通知を行うものである。受信したイベントはシステム内で保持され、以後はToDoリストとしても使用できる。これらの通知は見上げないと見えない位置に表示される。天井を用いる利点として、壁や床に比べて、家具や装飾品などの遮蔽物が少なく、通知空間が広い。視覚的な通知場所として活用しやすい点と、日常生活で視線に入りにくい点、表示物のちらつきによる作業の妨害などになりにくい点が挙げられる。本論文では、その天井通知システムの構成と各サブシステムの機能の実装について述べる。

## 2. 関連研究

本章では、天井を利用した研究や、プロジェクションによる天井以外の住環境への情報提示に関する研究について述べる。

### 2.1 天井を利用した研究

Tomitsch らは、天井の利用に着目したユビキタスコンピューティングアプリケーションを提案し、そのフレームワークを作成している [3]。天井を情報化ディスプレイとして、空間における音量レベルの可視化や、インタラクティブに天井へのポインティングを行うための調査を行なっている。Ceilign Interaction[4] では、インタラクティブに天井を利用するシナリオ例として、パソコンのスクリーンの拡張、ワークフローの共有、パソコンの通知ポップの表示、プリンタなどの状態表示等を挙げている。Hands-UP[5] では、天井をディスプレイ化し、寝室のベッドに横たわりながら、腕のジェスチャなどでインタラクティブに操作を行うシステムとして、Kinect を用いたプロトタイプを例として示している。

### 2.2 プロジェクションによる天井以外の住環境への情報提示

MeetAlive[6] では、対面で行うグループ会議の補助を目的として、複数台のプロジェクタとデプスカメラを組み合わせて、会議室の全方向の壁や天井、机などを情報化ディスプレイとして利用し、室内にいる全員がそれぞれのコンピュータ内のコンテンツの共有などを行えるシステムを提案している。RoomAlive[7] では、周囲の環境を複数台のプロジェクタでのプロジェクションマッピングによってディスプレイ化し、部屋の外観をトロンテマや沼地の川などに変更し、ユーザ自身が投影物に対して叩く、銃で撃つ、などのアクションを行い、それを検知することで、拡張されたゲーム体験をしているような感覚に浸ることができるシステムについて述べている。LightSpace[8] では、デプスカメラとプロジェクタを用いて、空間内での手や壁といった様々なサーフェス間での、画像の配置やオブジェクトの操

<sup>1</sup> 京都産業大学大学院 先端情報学研究科

<sup>2</sup> 京都産業大学 情報理工学部

<sup>a)</sup> i1888060@cc.kyoto-su.ac.jp

<sup>b)</sup> hirai@cse.kyoto-su.ac.jp

作等の双方向性をインタラクティブに提供している。Yangらは、天井に設置した複数台のプロジェクタを用い、それぞれパン、チルト、ズーム、フォーカスのコンピュータ制御によって様々なプロジェクションマッピングによる演出を空間的に再構築可能なシステムについて述べている [9]。Pinhanezらは、回転ミラーを利用することで LCD/DLP の投影方式のプロジェクタの光を、壁や床などの様々なサーフェスに向ける仕組みとして、Everywhere Display プロジェクタを提案している [10]。IllumiRoom [11] では、インタラクティブな体験の向上を目的として、Kinect を用いてテレビを含む物理環境をスキャンし、プロジェクションマッピングによってゲームの視野の拡張などの補強・拡張するシステムを提案している。WorldKit [12] では、デブスカメラとプロジェクタを利用し、周辺環境に対して触れることによる文字や絵の描画や机の上の物体に関する情報提示といったインタラクションを行っている。Augmented Reality Kitchen [13] では、キッチンでの複雑で危険な操作を、安全、簡単、かつ効率的な調理の支援を行うために、キッチン周辺の物や壁などにプロジェクションマッピングによって情報を投影し、複数のタスク間の調整などを行うシステムについての設計と初期評価を行なっている。

### 3. システム構成

本システムは主に、電子レンジや洗濯機等の報知音や、インターフォンの呼び出し、SNS やメール、カレンダーといったインターネットサービス等から受信したイベント情報の受信や、システムを利用する各ユーザのイベント登録、位置情報などのユーザ情報管理、通知情報管理を行う通知情報管理サブシステム、天井に投影する通知アニメーションや ToDo リストの描画処理、および表示デザインの切り替え等を行う描画サブシステム、宅内に設置する多数のプロジェクタの描画位置や範囲を管理し、適切な描画位置処理を行うマルチプロジェクタ表示サブシステム、各ユーザの宅内での位置を計測するユーザ位置取得サブシステム、の4つで構成する。本システムの全体概要を図1に示す。この時、各サブシステム間の制御メッセージは主に MQTT プロトコルでやりとりする。また、天井に通知内容を表示している例を図2に示す。

#### 3.1 動作フロー概要

家電や住宅設備によるイベント情報は、IoT 家電等によるネットワーク経由での通信や、既存の家電等からセンサ等を用いて送信し、通知情報管理サブシステムは、これらをイベント情報として受信する。Twitter やメールといったインターネットサービスからの情報は WebAPI や IMap などのプロトコルを用いて通信し、通知情報管理サブシステムは、これらを SNS やメール、カレンダーなど種類別に受信する。ユーザの位置情報は、カメラデバイスや圧力

センサなどを用いて計測し、ユーザ名、部屋情報、および住宅の間取り図上での二次元座標をパラメータとして送信し、通知情報管理サブシステムは、これをユーザ情報として受信し管理する。これらの受信したユーザ情報、およびイベント情報をシステム内でユーザが登録しているアカウントと紐付け、システム内で保持、管理をする。また、イベント情報の受信時には、それをユーザに通知する通知アニメーションの描画を行う制御メッセージを描画サブシステムへと送信する。描画サブシステムでは、通知や ToDo リストなどを表示するデザインの切り替えができ、通知情報管理サブシステムから描画処理を行う制御メッセージを受信すると、設定されたデザインで描画処理を行う。そして、描画された画面の情報をマルチプロジェクタ表示サブシステムへと送信する。マルチプロジェクタ表示サブシステムは宅内の各プロジェクタ毎の描画位置、範囲を管理しており、描画サブシステムより画面情報を受信すると、各プロジェクタに送信する適切な位置・範囲に従って描画位置処理をし、それぞれ各プロジェクタ、およびそれに接続された描画ノードへと送信する。次章では、各サブシステムの実装について述べる。

### 4. 各サブシステムの概要と機能

本章では、天井通知システムを構成する各サブシステムの機能についての概要について述べる。

#### 4.1 通知情報管理サブシステム

天井通知システムのコア部分として構成する。家電の仕事完了や異常状態などのイベント情報の受信、ユーザ情報の設定や管理、イベント情報とユーザ情報の紐付けによる通知内容の決定と通知処理を行う。

##### 4.1.1 イベント情報受信

本システムが受信するイベント情報は、電子レンジや洗濯機等の家電の報知音による完了イベントや、給湯暖房機やインターフォンのコール等の住宅設備の呼び出し通知、またコンロの火の消し忘れ、ガスの元栓閉め忘れといった緊急通知等、様々なものが対象となる。また、Twitter やカレンダー、ToDo リストなどのインターネットサービスからの情報も受信する。

##### 4.1.2 ユーザ情報管理

ユーザはあらかじめ本サブシステムにユーザ名とパスワードを設定してアカウントを作成する。各ユーザは、自身のアカウントに受信したいイベントの登録を行う。また、ユーザ位置取得サブシステムから、ユーザの位置情報も受信し管理する。

##### 4.1.3 通知情報受信

イベント情報を受信すると、対象のイベントを登録しているユーザ情報と紐づけてタスクとしてシステム内で管理する。これは、受信したイベント情報の内容、完了状態、

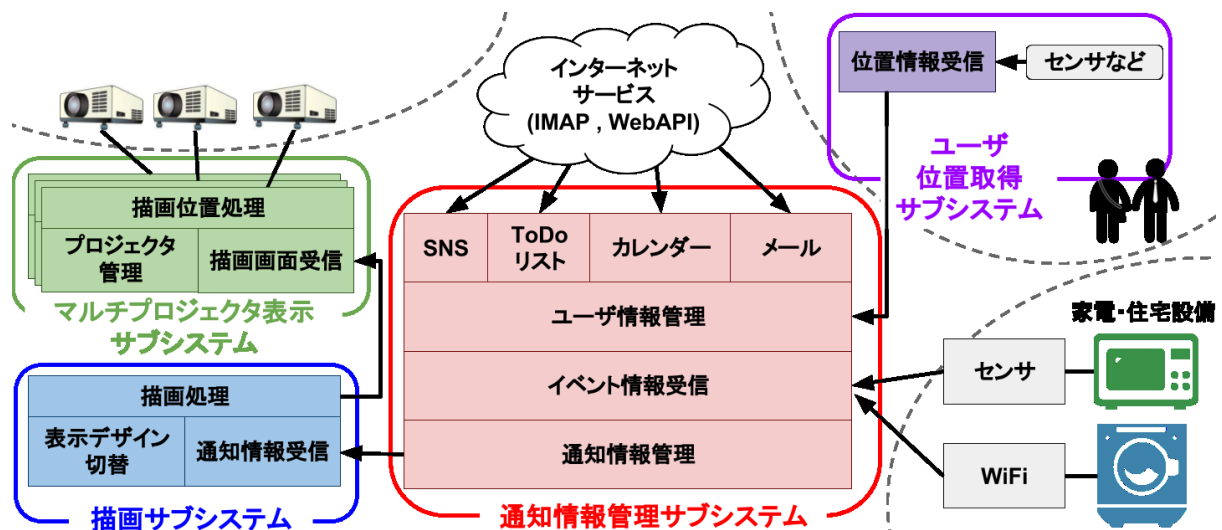


図 1 システム構成図

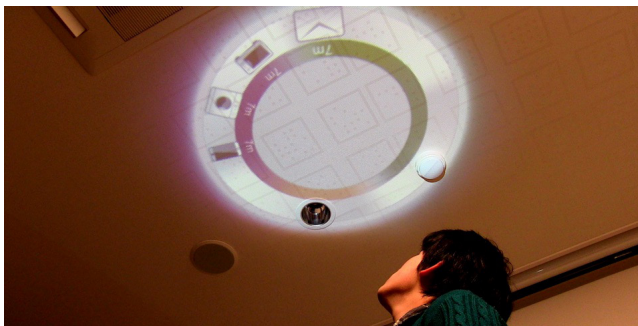


図 2 システム利用例

通知の優先度の3つのパラメータを持っている。また、これらのパラメータを元にイベント発生の通知を描画するための制御メッセージを、描画サブシステムへ送信する。現時点では、ユーザ情報やイベント情報の登録・設定手段として、Webサーバ経由での通信を用いて、ブラウザなどから本サブシステムへログインすることで操作を行なっている。

## 4.2 ユーザ位置取得サブシステム

本システムの通知やToDoリストの表示はユーザの頭上へ行くことを想定している。そのため、ユーザの頭上へ通知内容を表示するために、ユーザ位置の屋内測位を行う必要がある。現時点での実装として、部屋に設置したRGBDカメラで取得した深度画像から、ユーザとの距離を計測し、部屋情報と共に住宅の間取り図上での二次元座標としてユーザ位置情報を取得し、通知情報管理サブシステムおよび描画サブシステムへと送信する。また、我々の研究環境である実験住宅「Home」では、マーカー天井[14]の仕組みを用いてユーザの屋内測位を行うこともできる。

## 4.3 描画サブシステム

ユーザへの通知アニメーションや、ToDoリストを描画

する処理を行う。

### 4.3.1 通知情報受信

通知情報管理サブシステムからユーザへ通知する情報として、通知対象のユーザ、通知イベントの内容と優先度、その描画位置を受信し、描画処理を行う。その他にも、表示デザインの切り替え、ToDoリストの表示、といったユーザの操作等による制御メッセージも受信する。

### 4.3.2 表示デザイン切り替え

表示する通知アニメーションやToDoリストのデザインの切り替えを行う。

### 4.3.3 描画処理

通知情報管理サブシステムから受信した制御メッセージに従って、本サブシステムでは、宅内での各部屋の天井に対応した描画領域を持っており、通知情報管理サブシステムから描画を行う制御メッセージを受信すると、ユーザ位置取得サブシステムから得られた部屋情報、座標データから、描画位置を決定し、描画を行う。本研究では描画ツールとしてUnityを用いて、Syphonによって各描画領域毎に表示画面を画像情報としてマルチプロジェクト表示サブシステムへと送信する。

## 4.4 マルチプロジェクト表示サブシステム

複数プロジェクトを用いて住宅内全体の天井を描画することを前提にしたシステムとしている。ここでは、住宅内の間取り全体の天井をマップとして保持しており、各プロジェクトが受け持つ表示領域を管理する。そして、ユーザの位置や各プロジェクトの表示領域に合わせて、前節で述べた描画結果を分割し、各プロジェクトの描画を受け持つコンピュータへ送信する。

### 4.4.1 描画画面受信

描画サブシステムで描画された画面を宅内の投影対象となる天井の数だけ受信する。現状では、描画画面は画像情

報として Syphon で受信し、投影対象となる天井で用いるプロジェクトに合わせて描画位置処理を行う。

#### 4.4.2 プロジェクト管理

天井に投影するために用いる各プロジェクトについて、それぞれの投影する部屋情報と表示範囲を保持し、管理する。

#### 4.4.3 描画位置処理

管理されている各プロジェクトの部屋情報、表示範囲に従って、受信した画像情報を適切な描画位置・範囲になるように分割・クリッピング処理を行い、それぞれプロジェクトに送信する。現状では、分割・クリッピングの方法として OpenCV を用い、その各部分描画領域を NDI プロトコルで送信し、プロジェクトから投影される。

### 4.5 レンダリング方式

本システムのレンダリング方式として、集中レンダリングを用いている。天井に表示する内容は、メインとなるコンピュータ内で Unity によってレンダリングし、各プロジェクト、またはそれに接続されたコンピュータはレンダリングされた各表示内容の画像情報を受信し、表示する。各描画ノードに描画ツールを導入し、描画処理を行う分散レンダリング手法を用いることも可能だが、その場合、各描画ノードには描画処理を行うための処理能力などが要求される。近年ではギガビットイーサネットや WiFi など高速通信できる環境が整ってきており、実環境での利用を想定した場合、レンダリング処理は性能の高いコンピュータ 1 台で行い、描画ノードではその表示処理のみを行うことで、機器導入に伴うコストの削減などに繋がると考えられる。

## 5. おわりに

本論文では、我々が開発を行った天井通知システムの概要とサブシステムの実装について述べた。今後は各動作テストを行い、サウンドでの通知も含めてシステム統合をする。その後、通知アニメーションや ToDo リストにおける様々な描画デザインを検討し、被験者実験を通じて、描画デザインによる通知の気づきや、ToDo リストのみやすさ、使いやすさの評価を行う。また、見上げることによる首への負担なども評価を行い、天井通知システムの有用性について検証していく。

謝辞 本研究は JSPS 科費用 JP16L00726 の助成を受けた。

### 参考文献

- [1] 高村未知, 平井重行: コビキタス住宅における天井通知システムの提案, HIS2014 論文集, 1504P (2014)
- [2] 高村未知, 平井重行: スマートハウスでの天井通知システ

ムとそのデザイン, 情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集, 6ZA-06 (2015)

- [3] Tomitsch M: Interactive Ceiling - Ambient Information Display for Architectural Environments. PhD thesis, Vienna University of Technology (2008)
- [4] Wimmer R, Bazo A, Heckner M, Wolff C: Ceiling Interaction: Properties, Usage Scenarios, and a Prototype, In Blended Interaction (Workshop) at CHI2013 (2013)
- [5] Oh J, Hahm C, Jung Y, Sin H, Cho Y, Lee J: Hands-Up: Motion Recognition using Kinect and a Ceiling to Improve the Convenience of Human Life, CHI EA '12 CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems Pages 1655-1660
- [6] AR Fender, H Benko, A Wilson: MeetAlive, ISS '17 Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces Pages 106-115
- [7] Brett Jones, Rajinder Sodhi, Michael Murdock, Ravish Mehra, Hrvoje Benko, Andrew Wilson, Eyal Ofek, Blair MacIntyre, Nikunj Raghuvanshi, Lior Shapira: RoomAlive: magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units, UIST '14 Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology Pages 637-644
- [8] Wilson, A.D. and Benko, H.: Combining multiple depth cameras and projectors for interactions on, above and between surfaces. UIST '10 Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology Pages 273-282
- [9] Yang, R., Gotz, D., Hensley, J., Towles, H., & Brown, M. S. (2001, October): Pixelflex: A reconfigurable multi-projector display system. In Proceedings of the conference on Visualization'01 (pp. 167-174). IEEE Computer Society.
- [10] Pinhanez, C. (2001, September): The everywhere displays projector: A device to create ubiquitous graphical interfaces. In International Conference on Ubiquitous Computing (pp. 315-331). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [11] Jones, Brett R., et al: IllumiRoom: peripheral projected illusions for interactive experiences. CHI '13 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Pages 869-878
- [12] Xiao, Robert, Chris Harrison, and Scott E. Hudson: WorldKit: rapid and easy creation of ad-hoc interactive applications on everyday surfaces. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2013.
- [13] Bonanni, L., Lee, C. H., & Selker, T. (2005): Counter-Intelligence: Augmented reality kitchen. In Proc. CHI (Vol. 2239, p. 45).
- [14] 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和: 不可視マーカを用いた位置・姿勢推定のための環境構築とユーザ位置・姿勢推定システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.2, 2008.