

知的バス停におけるノーマリオフ技術適用評価

阿部 稿作^{†1} 長崎 健^{†1} 戸田 真志^{†2} 松原 仁^{†1} 平田 圭二^{†1}

概要：過疎地域におけるオンデマンドバスシステムでの利用を想定した知的バス停を開発した。知的バス停とは利用者がバスを呼ぶための通信機能を持っているバス停である。過疎地域に設置するような端末では設備コストの削減のために自立電源での動作が必須となり、省電力技術が求められる。そこで利用者が少ないことを考慮し、利用者がいないときの消費電力を抑えるため知的バス停にはノーマリオフを適用した。実地実験から得られたデータをもとに消費電力の評価を行った。

Evaluation of Applying Normally-off to the Demand Responsive Intelligent Bus Stop System

KOUSAKU ABE^{†1} TAKESHI NAGASAKI^{†1} MASASHI TODA^{†2} HITOSHI MATSUBARA^{†1} KEIJI HIRATA^{†1}

1. はじめに

近年 IoT が注目を集めていることもあり、さまざまな場所に無線センサ端末が設置され、利用されている。新潟県新潟市では水田にセンサ端末を設置し水位や気温などのデータを取得し、一括管理することで水田管理にかかるコストの削減を行っている [1]。また知的バス停を利用した地方都市におけるオンデマンドバスシステム [2] では通信機能を持つバス停を道路に設置し、利用者が操作することでバスの呼び出しを行う。この水田センサや知的バス停のように、電源を確保することが難しい場所にセンサ端末が設置される場合や電源を確保するコストを削減したい場合、センサ端末はバッテリーで駆動することが求められる。バッテリー駆動のセンサ端末ではセンサ端末の動作にかかる消費電力を削減することでバッテリーの長寿命化につながり、バッテリーの交換にかかるコストを削減することができる。本研究では過疎地域におけるオンデマンドバスシステムでの利用を想定した知的バス停を開発した。過疎地域とは人口減少が著しく、高齢化が進み、財政力が貧弱な地域である。過疎地域では知的バス停の利用者が少ないため待機し

ている時間が長くなる。このことを利用して知的バス停はノーマリオフによって省電力化が図られている。ノーマリオフとはコンピュータが待機状態にある場合電源を遮断することによって待機状態時の消費電力を削減する手法である。また知的バス停には2つの性能の異なる CPU が搭載されている。知的バス停の機能を性能の異なる2つの CPU で分担して処理することにより消費電力の大きい CPU の動作回数が減り、システムの省電力化を行うことができる。

2. 関連研究

2.1 ノーマリオフ知的バス停実運用を想定した消費電力実装評価

新田ら [2] は北海道七飯町をモデルとしてオンデマンドバスシステムとそこで用いる知的バス停の設計を行い、その知的バス停で用いる電子ペーパーと無線モジュールの電力評価を行っている。新田らが設計した知的バス停の構成は CPU に RX63N を持ち、人検出機能のために焦電センサ、バス呼び出し機能のために無線モジュール、表示器として電子ペーパーを持ち、それらはノーマリオフによって省電力化されている。これらのデバイスの消費電力から知的バス停が消費する電力を算出し、知的バス停が十分に独立電源で動作することを示している。

^{†1} 現在，公立はこだて未来大学
Presently with Future University in Hakodate

^{†2} 現在，熊本大学
Presently with Kumamoto University

2.2 カメラを用いた知的バス停システムの省電力評価

Yamamoto ら [3] は新田らが設計した知的バス停においてバス利用者以外の人間を誤検知し、システム起動回数が増えることによって電力を消費している問題を解決するため、カメラを用いて画像認識を行うことで誤検知の回数を減らし省電力化している。Yamamoto らはカメラの起動にかかる時間、カメラが持つ省電力モードからの復帰にかかる時間や消費電力、実際にカメラのキャプチャ中の動作電流を調べ、カメラを利用しバス停の利用者判別を行うことでシステムの消費電力を削減できることを示している。

3. 提案手法

3.1 オンデマンドバスシステム

本研究で扱うオンデマンドバスシステムは新田ら [2] が設計した七飯町型オンデマンドバスシステムを用いる。このオンデマンドバスシステムは公共施設の最寄りのバス停から公共施設までの間を枝状に接続する。また最寄りのバス停と公共施設内に通信機能を持った知的バス停を設置する。利用者はこの知的バス停を操作することによりバスの呼び出しを行うことができる。最寄りのバス停に設置された知的バス停からバスが呼び出された場合は要求に応じてバスを運行するが、公共施設から最寄りのバス停への送迎は既存の路線バスへの接続を行うことを目的とし、路線バスのダイヤに合わせて運行する。このシステムのフローを図 1 に示す。

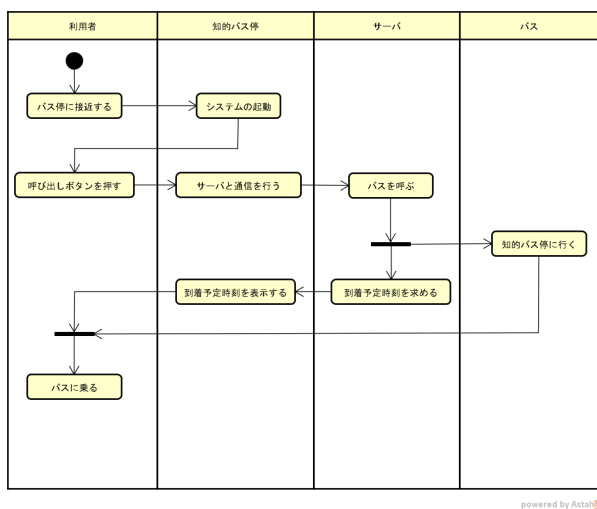


図 1 オンデマンドバスシステムのフロー

3.2 ノーマリオフ知的バス停システム

本研究でのバス停は機能としてバス呼び出し機能、到着時刻と現在時刻の表示機能、利用者検出機能を持つ。バス呼び出し機能は利用者がバス停についているボタンを押すことで動作する。利用者にボタンを押されるとバス停はバスサーバと通信を行い、バスの到着時刻と現在時刻を取得

する。ここで取得した時刻は表示器を使い利用者に提示する。利用者検出機能はバス停のノーマリオフのために使用する。利用者を検出していないときにはバス停の電源を切り、利用者を検出したときのみバス停を動作させることによりバス停の消費電力を削減することができる。バス停の機能を図 2 に示す。

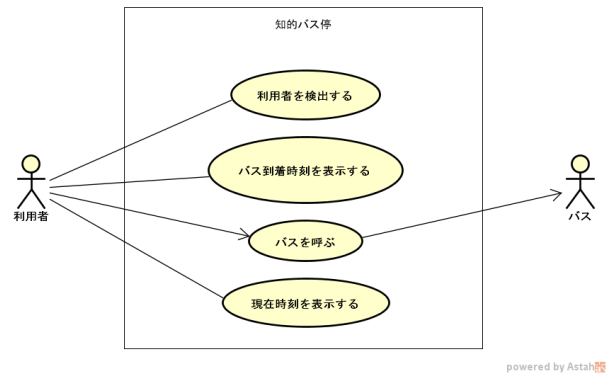


図 2 バス停の機能

3.3 ノーマリオフ知的バス停の構成

本研究で使用するバス停のデバイス構成について図 3 に示す。バス停は CPU に RX63N と RL78 の二つの CPU を持つ。これは RX63N と RL78 とでタスクを分担し、システムの消費電力を削減するためである。RL78 で十分に処理できるタスクについては RL78 で実行し、RL78 で処理できないタスクについては RX63N で実行することによりシステムのピーク性能を保ちつつ消費電力を削減することができる。表示器は電子ペーパーと照明 LED を持つ。電子ペーパーは不揮発性の表示器であり描画を行っていないときには電力を消費しない。また照明 LED は利用者がいると判断されたときときに点灯する。バス呼び出し時に行う通信のために無線モジュールを持つ。この無線モジュールは携帯電話回線を用いて通信を行う。人検出機能のために焦電センサ、カメラを持つ。このように 3 種類のセンサを用いるのは利用者ではない、ただ前を通り過ぎる人も検知してしまうことを避けるためである。RX63N は電子ペーパー、照明 LED、カメラ、無線モジュールの制御を行い、RL78 は焦電センサ、バス呼び出し用ボタンの制御を行う。

3.4 ノーマリオフ知的バス停の動作

知的バス停の動きを図 4 に示す。知的バス停はノーマリオフが適用されており、スリープ状態の時には利用者検出機能以外の機能は実行されない。このとき焦電センサ以外の利用していないデバイスの電源は遮断される。焦電センサの電源を遮断しない理由は焦電センサの電源を入れてから安定するまでの時間がセンシングを行う周期より長いためである。利用者検出機能は周期的に実行され、センシング

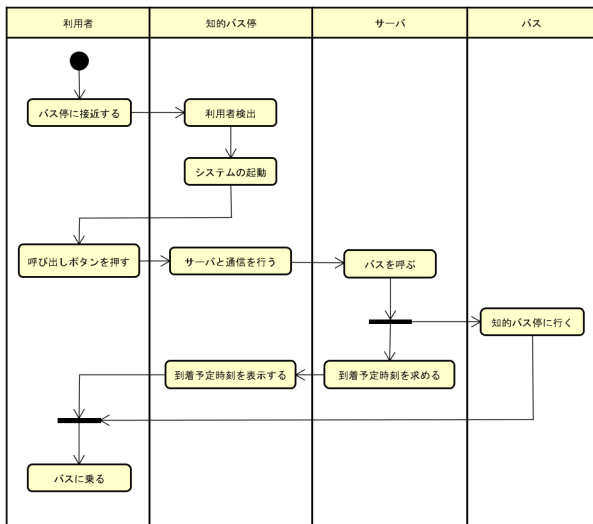


図 3 デバイスの構成

を行うときのみ CPU とセンサの電源を入れる。利用者検出機能では焦電センサ、カメラの順で段階的にセンシングを行う。まず焦電センサは人が近くにいることを調べ、そこに人がいると判断された場合カメラを用いて画像処理を行うことでその人が利用者であるか判別をする。焦電センサでセンシングを行ってからカメラを起動することで画像処理を行う RX63N の起動回数が減り、消費電力を削減することができる。焦電センサのセンシングは 0.3 秒ごとに行う。利用者検出機能においてのデバイスの動きを図 5 に示す。利用者検出機能で利用者がいると判断されたあと知的バス停はバス呼び出し待ち状態に遷移する。バス呼び出し待ち状態では表示器の照明 LED を点灯させ、利用者にバス停が動作していることを知らせる。利用者がバス呼び出しボタンを押した場合、知的バス停はバス到着待ち状態へ遷移する。バス到着待ち状態では知的バス停はサーバに現在の時刻とバスの到着予定時刻の問い合わせを行う。その後表示器の電子ペーパーに現在時刻とバス到着予定時刻の表示を行う。現在時刻の更新は 1 分ごとに現在時刻がバス到着予定時刻になるまで行う。現在時刻がバス到着予定時刻になったときバス到着報告状態へ遷移し、バスが到着したことを利用者に 1 分間通知する。利用者への通知は電子ペーパーに到着したことを表示することによって行う。その後知的バス停は再びスリープ状態へ遷移する。

4. 実験

4.1 知的バス停利用モデル

北海道七飯町アップル温泉にて実験を行い、知的バス周辺の人通りや知的バス停の利用の様子を記録した。このときの実験の様子を図 6 に示す。1 週間システムを導入し計測を行った結果、1 日の実験で利用者と判別された回数は 56 回、その中でバス呼び出しボタンを押した回数は 8 回で

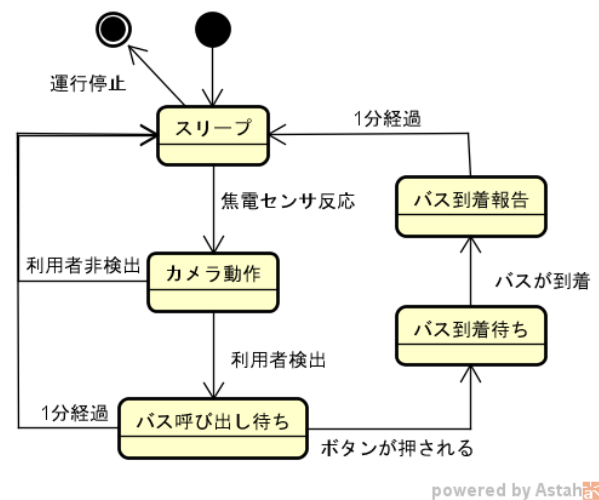


図 4 知的バス停の動作

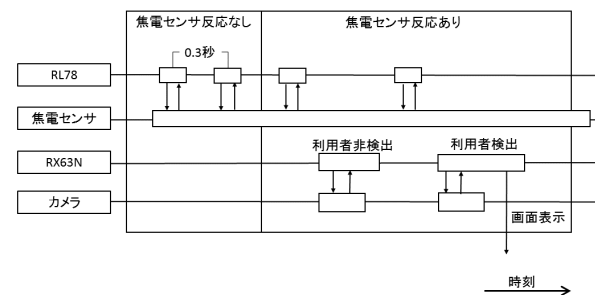


図 5 利用者検出機能の動作

あり、知的バス停の前を通り過ぎていった人と判別された回数は 178 回であった。ここでの利用者とは知的バス停に興味を示し近づいてきて、検知エリア内で立ち止まった人のことである。通り過ぎていった人は知的バス停に興味を示さず、検知エリア内を素通りした人のことである。ここで得られたデータをもとに知的バス停利用モデルの作成を行った。1 日を 1 分ごとに区切り、通りすぎた人がいた時間、利用者がいた時間、バス呼び出しボタンが押された時間、バス停がバス到着予定時刻を表示している時間をそれぞれ求めた。この結果を表 1 に示す。通り過ぎた人がいた時間、利用者がいた時間、バス呼び出しボタンが押された時間は 1 分の間にそれぞれ知的バス停の前を通り過ぎていった人、利用者、バス呼び出しボタンを押した人が存在したかを数えて算出した時間である。到着予定時刻が表示されている時間はバス呼び出しボタンが押されたあとバスが到着するまでに経過した時間である。知的バス停の周りに誰もいない時間は 1 日のうち通り過ぎる人がいた時間、利用者がいた時間、バス呼び出しボタンが押された時間、到着予定時刻が表示されている時間以外の時間である。

4.2 消費電力の計測

実地実験で得た利用頻度を用いて、知的バス停の 1 日の

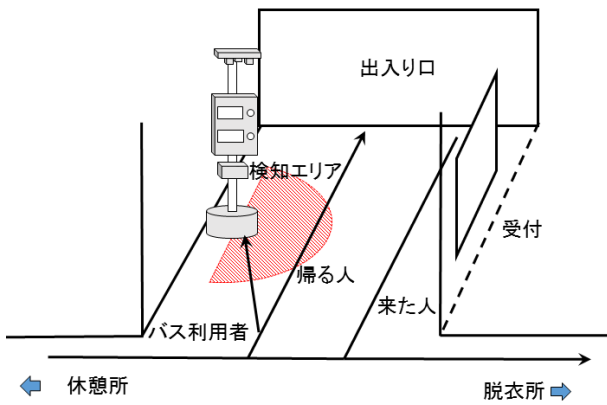


図 6 実験の様子

表 1 知的バス停の利用時間

項目	時間 (分)
通り過ぎる人がいた時間	117
利用者がいた時間	36
バス呼び出しボタンが押された時間	8
到着予定時刻が表示されている時間	72
知的バス停の周りに誰もいない時間	438

消費電力量の評価を行った。ここで知的バス停に使用した焦電センサと電子ペーパーの仕様をそれぞれ表 2 と表 3 に示す。カメラは株式会社アットマークテクノ社製 Armadillo 810 に付属するカメラを使用した。CPU には RX63N と RL78 を用いた。消費電力量の測定にあたり、通り過ぎる人がいた場合、知的バス停利用者がいた場合、バス呼び出しボタンを押す人がいた場合、知的バス停の周りに誰もいない場合について測定を行った。そこで得られたデータを知的バス停の利用時間にあてはめ、1 日の消費電力量を算出した。そして消費電力の評価にあたり性能の異なる 2 つの CPU を用いることの効果を調べるため、RL78 を用いず RX63N のみで知的バス停を動作させた場合についての計測も行った。このとき RX63N のスリープには RX63N の低消費電力モードであるディープソフトウェアスタンバイモードを用いた。さらに利用者検出に焦電センサとカメラを用いて行うことの効果を調べるために利用者検出を焦電センサのみで行った場合についての計測も行った。計測を行ったパターンを以下に示す。

- (1) 設計通り動作させた場合
- (2) 焦電センサのみで利用者検出を行った場合
- (3) RL78 を用いず RX63N のみで動作させた場合
- (4) (2) かつ (3) の場合

それぞれについて計測の結果を表 4 に示す。(1) の消費電力量は 20338[J], (2) の消費電力量は 43285[J], (3) の消費電力量は 20705[J], (4) の消費電力量は 43586[J] であった。(1) と (2) を比較すると、焦電センサによるセンシングのみで利用者を検出するのに比べ、焦電センサによるセンシングとカメラを用いた画像処理を段階的に実行し利用者

を検出することによって約 53% の電力量を削減できることが分かった。次に (1) と (3) を比較すると、CPU を RX63N のみで知的バス停を動作させるのに比べ、RX63N と RL78 を用いて 2 つの CPU を使い分けながら動作させることによって約 2% の電力量を削減できることが分かった。ここで (1) と (3) について CPU が消費した電力量を比較すると、(1) の消費電力量は 402.24[J] であり、(2) の消費電力量は 769.18[J] であったため、CPU が消費する 1 日の電力量は RX63N のみで動作させる場合に比べ、RX63N と RL78 を用いて動作させることで約 48% の電力量を削減できることが分かった。(1) と (4) を比較すると、CPU を RX63N のみで動作させ、利用者検出を焦電センサのみで行う場合に比べ、我々のシステムは約 53% の電力を削減できることが分かった。

表 2 焦電センサの仕様

項目	数値	単位
型番	EKMB1201111	-
電源電圧	3.3	V
消費電流	2	μ A
検出距離	5	m

表 3 電子ペーパーの仕様

項目	数値	単位
型番	TCM-P74-220_v1.1	-
表示サイズ	7.4	Inch
解像度	480 x 800	px
画面更新消費エネルギー	179	mJ
電源電圧	3.3	V

表 4 消費電力測定の結果

項目	数値 [J]
(1) 設計通り動作させた場合	20338
(2) 焦電センサのみで利用者検出を行った場合	43285
(3) RL78 を用いず RX63N のみで動作させた場合	20705
(4) (2) かつ (3) の場合	43586

5. 考察

実験結果より利用者検出の際に焦電センサのセンシングとカメラによる画像処理を段階的に行うことによって約 53% 消費電力を削減できることが分かったが、性能の異なる 2 つの CPU を用いることによる効果は約 2% にとどまった。これはシステムの中で CPU が消費する電力量が全体の約 2% であり、CPU の消費電力に比べその他のデバイスの消費電力が大きいためである。本研究では知的バス停の作成時、利用したカメラなどのセンサは消費電力の測定を行う制約上、従来のものを使用したため、想定より大きく電力を消費してしまった。本研究で用いたカメラの消費電力

量は焦電センサが1日117回反応したとき570.55[J]であるのに対しYamamotoら[3]が使用しているカメラでは焦電センサ反応回数168回のとき約3[J]となっており、本研究で使用しているカメラのほうが大きく電力を消費している。このことから今後カメラやセンサなどのデバイスを知的バス停での利用に最適であるものを使用することが必要となる。

6. まとめ

本研究では過疎地域でのオンデマンドバスシステムでの利用を想定した知的バス停の開発を行った。知的バス停はノーマリオフと階層的にCPUを使用すること、利用者の検出に焦電センサのほかにカメラによる画像処理を追加することにより省電力化を行った。そして実地実験で得られた知的バス停利用モデルをもとに1日の消費電力量を測定し評価を行った。その結果、従来の知的バス停システムに比べ消費電力を削減することができた。

参考文献

- [1] NTT docomo: 報道発表資料 革新的稲作営農管理システム実証プロジェクトに関する連携協定を締結, https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2015/05/14_00.html, (参照 2016-02-12).
- [2] 新田 健人, 長崎 健, 戸田 真志, 平田 圭二, 松原 仁, “ノーマリオフ知的バス停実運用を想定した消費電力実装評価,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-EMB-36 No.22, Mar. 2015.
- [3] Kento Yamamoto, Takeshi Nagasaki, Masashi Toda, Keiji Hirata and Hitoshi Matsubara, “Power-saving Evaluation of the Demand Responsive Intelligent Bus Stop System Using a Camera,” 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, pp. 231 - 234, Oct. 2015.