

省エネルギーを目的とした リアルタイムヒートマップシステム実現方法の提案

2005MT104 杉田 達哉 2005MT117 天高 保裕

指導教員 青山 幹雄

1. はじめに

経済産業省資源エネルギー庁の調査によると、民生部門におけるエネルギー消費量が非常に増加している[3].

過去の研究において人の在、不在に従って機器を直接制御することによる省エネ効果は 0.6~3.3%、部屋ごとのエネルギー使用量の表示などをすることにより居住者に省エネ意識を喚起させる間接的な省エネ効果が 5~15%という結果がある[2].

本研究は、省エネルギー(以下省エネ)行動を促すためのリアルタイムヒートマップシステムの実現方法を提案する。

2. 省エネを喚起するための視覚化の課題

2.1. 視覚化情報の不足

間接的な省エネ手法における情報だけではどのような行動をとればエネルギー削減に繋がるのかという省エネ行動を促すことや、エネルギーが無駄に消費されている理由などをユーザに示すことができない。そこで課題をより明確にするために視覚化の実現に向けた調査を行った。

2.1.1. 温度の計測

ユーザがどのような情報を得れば、省エネを目指した行動ができるかということを調査するために 2008 年 9 月 22 日、南山大学瀬戸キャンパス G 棟 301 教室(研究室)の四か所の温度を定期的に計測した。

条件・状況を以下に示す。

- (1) 天候 晴れ
- (2) 測定箇所 図 1 における四か所、外気温、エアコンの設定温度
- (3) 研究生の構成 四年生 20 人、三年生 8 人

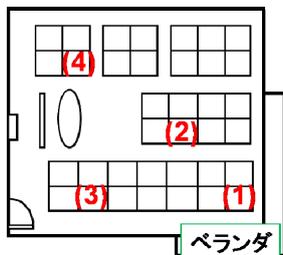


図 1 ゼミ室の見取図

研究室では四年生は主に(1)~(3)の場所で活動、三年生

は主に(4)の場所で活動している。研究室を利用する頻度は四年生の方が高く当日も四年生 12 人が活動していた。

2.1.2. 計測結果の分析

計測結果を図 2 に示す。調査から部屋には場所ごとに温度の違いがあることがわかる。この結果から視覚化することで省エネを目指した注意喚起ができると考えられるのは次の二点である。

- (1) 外気温の方がエアコンの温度よりも低いのに関わらずエアコンを使用し続けている
- (2) 一番涼しい(4)の場所ではなく室温の高い(1)~(3)の場所で活動している

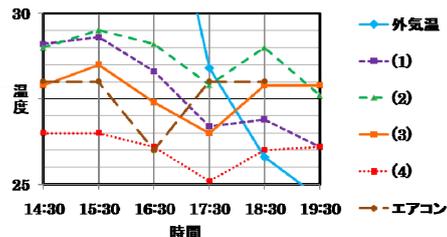


図 2 測定結果

2.2. 表示モニタの限定

また情報を表示するモニタの数が限定されるため、手軽に情報を取得することはできないという問題も生じる。現在の省エネを目指した視覚化手法を実際に利用するには専用のモニタを導入する、テレビなどで利用する場合にもホームエネルギーマネジメントシステム(以下 HEMS)の導入が必要など、表示するモニタが限定される。

3. リアルタイムヒートマップシステムを実現するためのアプローチ

問題を解決するために、本研究では室内の温度と空調の電力を視覚化の対象としたリアルタイムヒートマップという新たな視覚化手法の実現を考える。温度状況を直感的に把握するために室内における場所ごとの温度を色で表したものをヒートマップと呼ぶことにする。

3.1. 視覚化プロセスの三段階モデル

視覚化を実現するために次の三段階プロセスを定義した。

- (1) センサで温度と電力の計測を行い、データを収集
- (2) 収集したデータを、省エネを促す情報に変換

- (3) TV や PC などの画面を用いて視覚的に表示
これを視覚化プロセスの三段階モデルと呼び、ユーザに対して行動を起こさせるための動機付けが与えられると考えた(図3).

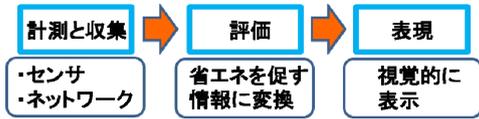


図3 視覚化プロセスの三段階モデル

3.2. 視覚化の要求仕様

2章の課題から視覚化の要求仕様を以下に示す.

- (1) 省電力で温度を計測
- (2) 直感的に判断可能な情報に変換
- (3) 視覚化情報のリアルタイム表示

本研究ではこれらの要求仕様を満たすリアルタイムヒートマップシステムの実現方法を提案する.

4. リアルタイムヒートマップシステムを実現するアーキテクチャ

4.1. アーキテクチャの提案

前章の視覚化プロセスに基づき、リアルタイムヒートマップを実現するアーキテクチャを提案する(図4). 各プロセスを以下で説明する.

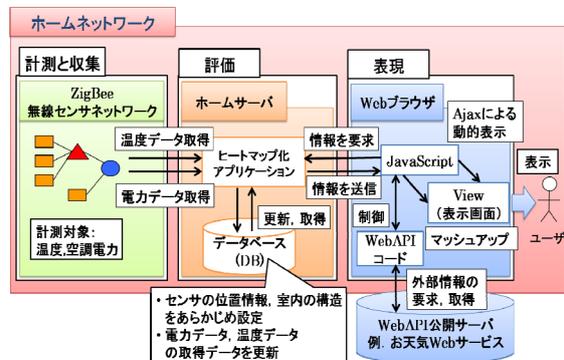


図4 提案するアーキテクチャ

(1) 計測と収集

省電力である特性を持つ無線センサネットワーク規格 ZigBee を用いて温度データの測定と収集を行う. センサには温度を計測する機能を持つエンドデバイスと各センサのデータを管理するコーディネータがある[5].

(2) 視覚化の評価

CGI を介してヒートマップ化アプリケーションを呼び出して、温度情報をヒートマップ化する.

(3) 表現の方法

Web ブラウザを用いる. Web 上の情報とのマッシュアップ、Ajax によるヒートマップの動的表示を行う.

このシステムの振る舞いを 4.2 節で説明し、各プロセスの詳細は 4.3 節以降で順に述べる.

4.2. アーキテクチャの振る舞い

図4のアーキテクチャに対する振る舞いのシーケンス図を示す(図5). ユーザが JavaScript を起動し、サーバにあるヒートマップ化アプリケーションを起動する. ZigBee が取得した情報を更新した時に JavaScript が定期的にデータ呼び出し、画面に動的表示させる. また、WebAPI で外部のお天気サービス呼び出して画面に重ね合わせる.

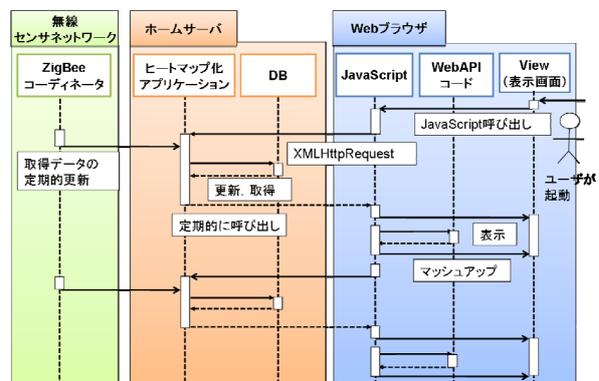


図5 アーキテクチャのシーケンス図

4.3. 計測と収集

4.3.1. 無線センサネットワークの要求仕様

ZigBee 製品の仕様と ZigBee に関する先行研究に基づいて温度計測を行う無線センサネットワークの要求仕様を定める.

- (1) 通信距離は屋外 100m, 屋内 30m
- (2) 縦 13m, 横 18m の部屋ではノード間の通信が問題なく可能
- (3) 他の無線 LAN との干渉は起こらない

4.3.2. 計測箇所の要求仕様

(1) 外気温の計測

2章における測定結果の外気温の方がエアコンの温度より低いにも関わらずエアコンをつけっぱなしにしているということをユーザに注意喚起するためにエンドデバイスを一つ外に配置する.

(2) ユーザの行動範囲に基づいた計測

室内の計測箇所について部屋空間にユーザの配置が決まっている場合について考える. 座席の配置がされているところをユーザの行動範囲としてセンサで計測を行う.

(3) 温度差がある箇所の計測

建築構造や空調機器の配置によって、室内の温度は一定でないことから、この温度分布を計測する. 温度差がある計測箇所は事前に調査して決定する必要がある.

例として南山大学 G 棟 G301 教室(青山研究室)で計測する場合を考えた(図 6)。教室の大きさは 10m×10m であるためノード間の通信はセンサの要求仕様により問題なく可能である。外気温測定のためのエンドデバイスはベランダに設置した。

研究室生は図の三角形の部分で密集して活動している。ユーザの配置が決まっていることから図 6 の三角形の部分に室内における主な計測箇所とし、図 6 の右上、右下、左下の三か所にセンサを設置する。また研究室生があまり活動していない左上にも比較対象として、センサを一つ設置する。四か所に設置したセンサから温度を計測し、データを収集する。これにより、室内で活動しているユーザが必要としている温度分布情報を得ることができる。

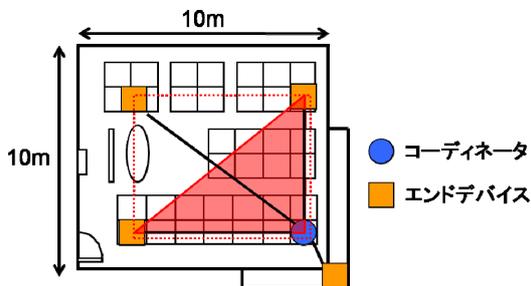


図 6 室内におけるセンサの設置箇所

4.3.3. 計測と収集方法

個々のエンドデバイスは定期的に温度の計測を行う。コーディネータでは計測した温度データの取得周期を定め、それに基づき各センサで得られた温度情報の収集、更新を行う。コーディネータは自身で得られた温度情報とともに各センサから得られたデータをサーバに送信する。

4.4. 視覚化の評価

計測、収集したデータをヒートマップ化するためには温度の数値を評価する必要がある。本研究では省エネを促す情報として温度計測データを色に変換する。

4.4.1. ヒートマップ化の具体例

温度を色で評価した例を図 7 に示す。

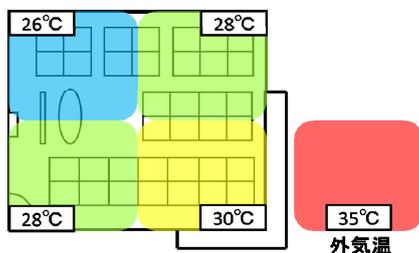


図 7 ヒートマップ化の具体例

これは 4.3.2 項における研究室内の四隅の温度を等間隔に計測する場合で、色のエリアを四分分割で表したものである。なお計測した時期は夏と仮定する。

4.4.2. 季節に応じた色彩表現の方法

色の変化で温度分布を表すことにより、ユーザが直感的に室内の状況を認識ができると考えられる。ユーザの温度感覚が季節により違うことから、季節ごとに温度を表現する色彩パターンを変える表現方法を適用する(図 8)。

季節ごとに快適と考えられている温度を緑色で表現し、これを起点に図 8 のように季節に応じて温度の色彩パターンをシフトしていく。これにより季節ごとに適切なヒートマップを示し、ユーザの省エネ行動を促す。

温度(°C)	春	夏	秋	冬
40	Red	Red	Red	Red
35	Red	Orange	Orange	Orange
30	Orange	Yellow	Yellow	Yellow
28	Yellow	Green	Green	Green
26	Yellow	Light Green	Light Green	Light Green
24	Light Green	Light Blue	Light Blue	Light Blue
22	Light Green	Blue	Blue	Blue
20	Light Green	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue
15	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue
10	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue
5	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue

図 8 季節に応じた色彩パターン

4.5. 表現の方法

4.5.1. WebAPI によるマッシュアップ

ヒートマップを表現する画面として本研究では Web ブラウザを用いる。画面に温度情報を表示するにあたり、Web 上に提供されている天候の情報などを利用する。これらの情報を表示するために WebAPI によるお天気情報サービスとのマッシュアップを行う。

4.5.2. Ajax/Comet 方式を用いた動的表示

Ajax を使用する主な理由として、近年の Web ブラウザが Ajax 対応なものが増えてきていること、特別なプラグインが必要ないことを挙げる[4]。

Ajax の利用形態には一定間隔おきにサーバにリクエストを送り、データの変化をクライアントに表示する Polling 方式と、あらかじめサーバにリクエストをサーバに送っておき、サーバ内の情報が変更された場合にその情報をクライアントに表示する Comet 方式が挙げられる。

図 9 に Polling 方式と Comet 方式の違いを示す。

Polling 方式は Comet 方式に比べサーバ接続時間が少ないが、サーバに対して何度もアクセスする必要があるため情報の通知のリアルタイム性を実現するのは難しい。

一方 Comet 方式ではサーバ接続時間が長くなるが、アクセスが一回のリクエストを送信して情報に変更があった場合はレスポンスを返すという方式のためリアルタイム性を実現する。

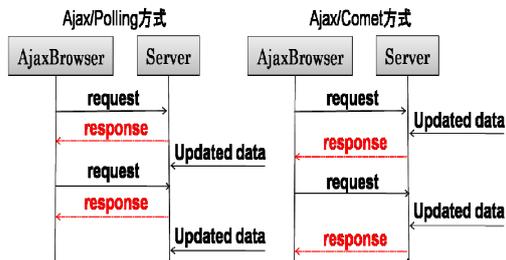


図9 Polling方式とComet方式の違い

よって Comet 方式は情報の表示に対してリアルタイム性が求められるアプリケーションに向いている(表1).

表1 Ajaxの二つの形態の違い

	サーバ接続時間	アクセス数	情報のリアルタイム性
Ajax/Polling方式	小	多	アクセス数が多くなり困難
Ajax/Comet方式	大	少	一回のアクセスで可能

4.5.3. リアルタイムヒートマップの画面表示

前節で述べた Ajax/Comet 方式を用いて、センサで取得した温度データがサーバに更新された瞬間に温度情報をブラウザに表示できる。

このような表示形態を用いることにより温度センサだけではなく、様々な機器が持つ情報を Web ブラウザにリアルタイム表示できると考えられる。

5. 評価と考察

本研究で提案したアーキテクチャはユーザに対して省エネ行動を促すために温度を視覚化した例である。

このような省エネを注意喚起するシステムには HEMS があるが、室内の各温度を計測して温度分布で表示するといった機能はまだない。

そこで本研究ではリアルタイムヒートマップシステムを実現するにあたって、アーキテクチャを三段階のプロセス(計測と収集, 評価, 表現)にわたって提案した。

(1) 計測と収集

ZigBee を用いることにより省電力なセンサネットワークを構築することができる。センサを無線で分散配置するので、特別な工事が必要なく安易に導入できると考えられる。この ZigBee の特性から室内の場所ごとの温度を計測することができる。

(2) 視覚化の評価

室内センサの位置情報からその距離の間に色をつけるという視覚的情報(ヒートマップ)に変換することにより、空調の消費電力と比較することでユーザの省エネに対する意識を改善できると考えた。

(3) 表現の方法

WebAPI を用いれば簡単に Web 上の天気情報サービスから今日の天気などの情報を画面に付加させることができる。これによりユーザ周りの温度環境を視覚化でき、外部の情報と室内の情報を比較することにより、高機能な画面を実装できると考えた。また Ajax による Web アプリケーションの動的表示によって情報の通知にリアルタイム性を持たせることにより、表示画面をリッチクライアントにできると考えた。

以上より、これらの方法を用いれば 4.1 節で定めた視覚化の要求仕様を満たしたアプリケーションを実現する妥当性があると考えられる。

また今回は家庭内における温度情報をヒートマップ化する例を提案したが、計測対象や計測範囲, 評価の方法を変えることで、温度だけではなく別ドメインの情報をヒートマップ化できると考えられる。

6. 今後の課題

(1) アーキテクチャと各コンポーネントの検証

他のアプリケーションにこのアーキテクチャを適用するために、アーキテクチャと視覚化プロセスの三段階の各コンポーネントを検証する必要がある。

(2) 画面設計の問題

リアルタイムヒートマップが表示する色の変化, マッシュアップによる重ね合わせする情報の最適化を行う必要がある[1]

7. まとめ

本研究では民生部門におけるエネルギー使用量が増加していることに着目し、解決方法としてリアルタイムヒートマップシステムの実現方法を提案した。

アプローチとして三段階のプロセス(計測と収集, 評価, 表現)に基づく視覚化モデルを提案し、要求仕様を定めた。そしてアーキテクチャを提案し、各プロセスのコンポーネントの有用性を評価した。

参考文献

- [1] 新 誠一, 情報家電システムの可視化, モデル化, 最適化, 2004, http://www.i.u-tokyo.ac.jp/coe/report/H16/21COE-ISTSC-H16_2_5_6.pdf.
- [2] 石田 健一ほか, HEMS による家電連動制御, 空気調和衛生工学, Vol. 80, 2006, pp. 53-61.
- [3] 経済産業省資源エネルギー省, <http://www.enecho.meti.go.jp/>.
- [4] 清野 克行, 図解でわかる Ajax のすべて, 日本実業出版社, 2006.
- [5] 鄭 立, ZigBee 開発ハンドブック, リックテレコム, 2005.