

ユビキタスセンサネットワークにおけるプライバシー保護と 高品質サービスを実現する最適センサ組合せ決定システムの試作

一枚田 隆史[†] 中川 紘志[†] 加藤 弘一[†] 勅使河原 可海[‡]

^{†, ‡}創価大学大学院工学研究科

Email: [†]{e08m5202, e08m5219, kokatou}@soka.ac.jp, [‡]teshiga@t.soka.ac.jp

あらまし 多様なセンサデバイスが配置され、多岐に渡る情報を取得されうるセンサネットワーク空間においては、ユーザのプライバシー保護が重要な課題である。一方、ユーザに対し十分なサービス提供を行うことも重要である。本研究ではこれまで、センサネットワーク空間におけるプライバシーとサービス品質に関するユーザの要求を実空間へ反映させるために、最適センサ組合せの決定方式について検討してきた。本稿では、現実的なセンサとサービスを想定したプロトタイプシステムについて述べる。そして、簡易的なシミュレーションを通して、ユーザの要求や空間の状況等の要件を基に最適センサ組合せが決定できることを示す。

Prototype Development of the Decision System for Optimum Sensor Combinations to Achieve Privacy Protection and High-Quality Services in Ubiquitous Sensor Network

Takashi Ichimaida[†] Hiroshi Nakagawa[†]

Koichi Kato[†] Yoshimi Teshigawara[‡]

^{†, ‡}Graduate School of Engineering, Soka University

Email: [†]{e08m5202, e08m5219, kokatou}@soka.ac.jp, [‡]teshiga@t.soka.ac.jp

Abstract: User privacy protection is the great challenge in the ubiquitous sensor network space that has many sensor devices and collects various information from users. On the other hand, it is also important that providing sufficient services in consideration of privacy protection with limited information. We have studied a decision method for optimum sensor combinations in order to reflect users' requirements of privacy and service quality to a real sensor network space. This paper describes prototype development of the system with an assumption of practical sensors and services. Furthermore, through simple simulations, we confirm that the prototype can decide optimum sensor combinations based on users' requirements.

1. はじめに

近年、ユビキタス社会の一形態として、センサネットワーク空間の研究や開発が進められている。センサネットワーク空間では、ユーザは日常生活や業務に対して有益なサービスを楽しむことが可能になり、応用可能な範囲も広いことから期待が高まっている[1].

実現・普及のために早急な解決が必要な課題の1つとして、ユーザのセキュリティ確保、プライバシー問題が挙げられる[2]. センサネットワーク空間では、常にセンシングが行われ、ユーザの状況や意思に関わらず容姿や位置情報、行動履歴といった情報まで容易に取得されてしまう可能性がある。また、プライバシーの捉

え方には個人差があるため、守りたい情報はユーザーごとに異なる[3]。一方、プライバシーを考慮するあまりにセンシングを極端に制限すると、取得情報が不十分でサービス実行が困難になり、ユーザーに快適な空間を提供できなくなる。

つまり、プライバシー保護と快適なサービス提供の間にはトレードオフの関係があり、この両立は非常に困難である。現在、各ユーザーのプライバシーとサービス利用に関する要求を考慮してセンシングやサービスを制御する汎用的な手法は確立していない。

本研究は安全・安心・快適なセンサネットワーク空間の実現を目的とし、これまで、プライバシーの保護とサービス提供に関するユーザーの要求を抽出・決定する方式[4]、および決定したユーザーの要求を実空間に反映させるための使用センサの最適組合せ決定方式[5]について検討してきた。本稿では、後者に関して、具体的なセンサとサービスを想定したプロトタイプシステムの実装について述べ、簡易的なシミュレーションを通して、ユーザーの要求を基に最適なセンサの組合せが決定できることを示す。

2. 本学における取り組み

本学におけるセンサネットワークに関する取り組み[6]において、インテリジェントセンサノード SPAN (Smart Passive/Active Node) の開発が進められている。SPAN は、動画、画像情報、位置計測といった人や物の状況から、温度や湿度のような空間の環境情報まで取得可能である。また、動作させるセンサの指定や取得情報の加工、取得情報でのサービス実行判断などの機能を持つ。SPAN が空間やユーザーから多様な情報を取得することで、普段の生活や業務に対して有益なサービスを提供するセンサネットワーク空間の実現を目指している。

なお、本研究では、各センサが情報を取得し、それらを基にコンテキストが生成され、さらにコンテキストを組み合わせてサービスが実行されるセンサネットワーク空間を想定する。

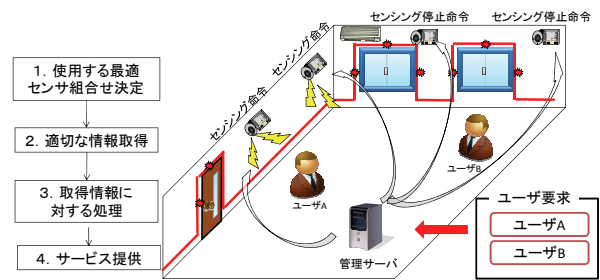


図1 本研究の概観

3. センサ組合せ選択における課題

3.1 プライバシー保護への対応

センサネットワーク空間では、複数のユーザーが同時に利用する。通常、ユーザーによって守りたい情報は異なるため、制御すべきセンサも変化する。従って、その時点で空間内に存在する全ユーザーの要求を考慮し、プライバシー保護を実現するセンサ組合せを選択する必要がある。

しかし、選択時に考慮すべき要件や基準が不明瞭である。さらに、ユーザーの数や位置といった空間の状況は頻繁に変化すると予想されるため、全ユーザーのプライバシー保護を実現可能なセンサの選択は困難である。そこで、センサ選択時に考慮すべき事項を洗い出し、最適なセンサの組合せを決定する方式の確立を目指す。

3.2 サービスの提供度合いの維持・向上

ユーザーにとって快適な空間を実現するためには、ユーザーが望むサービスを適切に提供する必要がある。しかし、プライバシー保護のためにセンサを制限しつつ、サービス実行のための情報を取得することは困難である。また、複数のユーザー間での要求が競合する場合、全てのユーザーの望むプライバシー保護とサービス提供を実現することはさらに困難になる。

そこで、代替可能なセンサが存在する場合には、それを使用することで、全てのユーザーの要求の実現を目指す。

4. 最適センサ組合せ決定方式

4.1 センサ選択の可能性と導出のタイミング

ユーザーの要求を実空間に反映させ情報取得

を行う際、ユーザが複数の代替案を許容した場合と、1つの情報が複数のセンサで取得可能な場合のいずれかが成立する場合において使用するセンサの選択が可能になる。

また、状況の変化に応じて最適センサ組合せを導出すればよいため、導出タイミングはユーザ移動時、サービス状態の変化時とする。

4.2 センサ組合せ決定に必要な情報

(a) センサの動作状態

各センサの動作状態を、センシング機能の実行/停止の2値で扱う。

(b) センサ, センサ情報, コンテキスト, サービスの関係

1つのコンテキストの生成に必要なセンサ情報の組合せ, およびサービス実行に必要なコンテキストの組合せはそれぞれ複数存在する場合がある[7]。さらに, 1つのセンサ情報についても, その情報を取得可能なセンサが複数種類存在する場合がある。そこで, これらの関係をセンサ選択時に考慮する。

(c) センシング可能範囲とサービス提供可能範囲

センシング可能範囲はセンサによって異なる。同様に, サービス提供可能範囲もサービスによって異なる。図2にその例を示す。ユーザの位置に応じてセンサを制御するために, これらを考慮する。

(d) ユーザの位置

ユーザの位置と(c)で述べた各範囲を対応づけるために, ユーザの位置情報が必要である。

(e) ユーザの要求

ユーザの望むプライバシー保護とサービス品質を実現するために, 各情報に対するセンシングの可否やサービス利用の有無が定義されたユーザ要求[7]を考慮する。

(f) プライバシー影響度とサービス実行率

ユーザのプライバシーの影響度合いとサービスの提供度合いを定量化するために, プライバシー影響度 PI , サービス実行率 SE を考慮する[4]。なお, SE について, 文献[4]では空間使

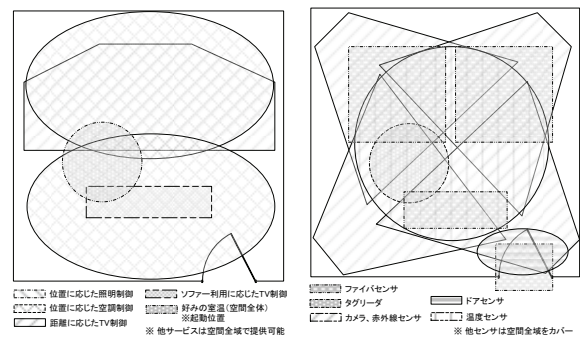


図2 サービス提供可能範囲とセンシング可能範囲の例

用前の要求抽出であるためサービス期待値と呼んでいるが, 本稿は空間利用時について扱っているため, サービス実行率と呼ぶ。

PI は, 取得されるセンサ情報やコンテキスト i の価値 V_i , センサ j の使用の有無 $x_j \in \{0, 1\}$, 情報 i を取得する確率 $P_i(\mathbf{x})$ として, 次式で定義する。ただし, $P_i(\mathbf{x})$ は本節 (b) で述べたセンサ, センサ情報, コンテキストの関係から決定し, 本稿では $P_i(\mathbf{x}) \in \{0, 1\}$ で扱う。

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_i) \quad (0 \leq V_i \leq 1)$$

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_j)$$

$$P = (P_1(\mathbf{x}), P_2(\mathbf{x}), \dots, P_i(\mathbf{x})) \quad (0 \leq P_i \leq 1)$$

$$PI(\mathbf{x}) = \sum V_i \times P_i(\mathbf{x})$$

SE は, 提供可能範囲内にあり, 利用要求があるサービス数のうち実際に実行するサービス数として, 次式で定義する。

$$SE(\mathbf{x}) = \frac{\text{実行サービス数}}{\text{提供可能範囲内にあり 利用要求があるサービス数}}$$

4.3 最適センサ組合せの導出

まず, ユーザの要求を基に利用不可能なセンサとサービスを抽出する。次に, ユーザの位置座標を取得し, その座標においてセンシング可能センサ, また実行可能サービスを抽出する。これを全てのユーザに対して行い, 最終的に抽出されたセンサの中で下記の目的関数を満たす組合せを, 最適センサ組合せとして導出する。

目的関数は, 空間を利用する全ユーザの中で,

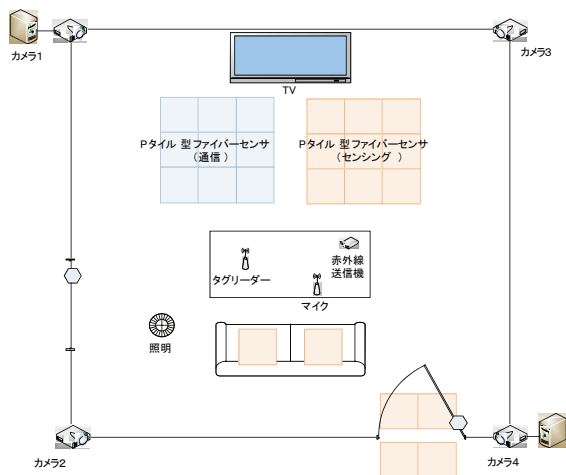


図3 想定空間のレイアウト

表1 想定するセンサとサービス

センサ	サービス	サービス詳細
画像センサ (カメラ1~4)	照明制御	人がいたら点灯
光ファイバセンサ		部屋が暗ければ点灯
超音波センサ		ユーザの位置に応じた制御
照度センサ	テレビ制御	ユーザの状態に応じた制御
赤外線センサ		人がいたらON
タグリーダー	空調制御	好みの番組を表示
時計		自動録画
ドアセンサ		ユーザの状態に応じた制御
温度センサ		既定の温度に設定
		好みの室温にする(空間全体)
		好みの室温にする(ユーザの位置)
		好みの室温にする(ユーザの状態に応じた制御)

特定のユーザのプライバシー影響度のみの増加を防ぐため、またユーザが利用したいサービスをできるだけ実行する必要があることから、以下のように定義する。

$$\text{minimize } \max(P I_u(x))$$

$$\text{minimize } \max(1 - S E_u(x))$$

上記の多目的最適化問題を解くことでセンサ組合せを決定する。ただし、プライバシー保護とサービス提供はトレードオフの関係のため、両方を満足するセンサ組合せ x が決定できるとは限らない。そこで、空間としてどちらを優先させるかという空間定義に応じて目的関数を緩和する。

5. プロトタイプ開発とシミュレーション

4章で述べた方式を実現するシステムのプロトタイプについて述べる。また、具体的なセンサとサービスを想定した簡易的なシミュレーションを通して、最適なセンサ組合せが導出でき

表2 ユーザの要求例

取得情報	プライバシー影響度	利用
赤外線	50	TRUE
画像	0	FALSE
圧力	50	TRUE
加速度	63	TRUE
照度	0	TRUE
時間	36	TRUE
超音波	0	FALSE
趣味・嗜好	0	FALSE
温度	0	TRUE

コンテキスト	プライバシー影響度	利用
人の有無	25	TRUE
空間の明るさ	0	TRUE
人の状態	75	TRUE
人の位置	65	TRUE
好みの番組	75	TRUE
自動録画	0	FALSE

照明制御		サービス利用状況	
人がいれば点灯			TRUE
暗ければ点灯			FALSE
人の状態により制御			TRUE
位置による制御			TRUE

テレビ制御		サービス利用状況	
人がいればON			TRUE
好みの番組			TRUE
自動録画			FALSE
人の状態によるテレビ制御			TRUE

空調制御		サービス利用状況	
既定の設定温度にする			TRUE
好みの室温にする(空間全体)			TRUE
好みの室温にする(ユーザの位置)			FALSE
状態に応じた制御			TRUE

ることを確認する。図3に想定空間のレイアウト、表1に想定するセンサとサービスを示す。

5.1 システムの概要

文献[7]により決定された、CSV形式で記述されたユーザ要求を受け取り、ユーザの位置座標、センシング可能範囲やサービス提供可能範囲を基に、使用するセンサの組合せを導出する。表2にユーザ要求の例を示す。ユーザ要求はセンサ毎に情報取得の可否、またサービス毎に利用の可否が TRUE, FALSE で定義されている。

本プロトタイプでは、全ユーザの要求を考慮し、利用が許容されたセンサの中で、目的関数を満たすセンサの組合せを決定する。なお、現段階では、ユーザの位置座標は手動で入力する。

5.2 システムの処理手順

4.2節で示した事項を基に、最適センサ組合せ決定システムのプロトタイプを実装した。システムの処理手順を以下に示す。

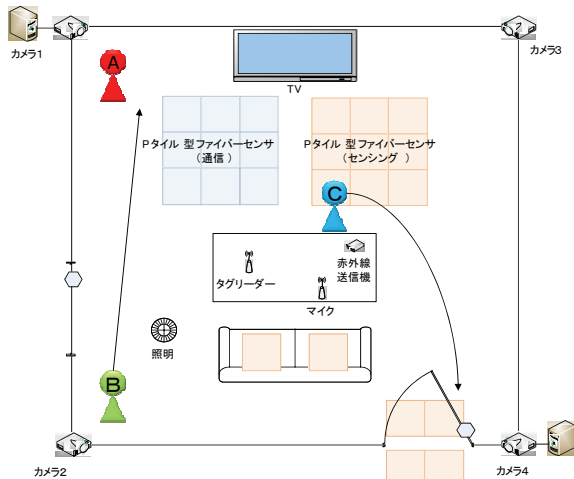


図4 想定シチュエーション

- (a) ユーザ要求を読み込む。
- (b) ユーザ要求に記述された各センサ情報のプライバシー影響度の総和を、そのユーザのプライバシー影響度として算出する。ここで、実際にセンシングを行う場合には要求で定義された値をそのまま利用し、センシングに利用しないものに関しては0となる。
- (c) ユーザの位置座標を入力する。
- (d) (a)と(c)を比較し、要求が TRUE であり、かつセンシング可能範囲内にあるセンサを、利用可能センサとして抽出する。
- (e) (d)と同様に、要求が TRUE であり、かつサービス提供可能範囲内にあるものを利用可能サービスとして抽出する。ここで、要求の中で TRUE と定義されていても、利用可能センサだけではサービス実行に必要なコンテキストを生成できない場合、結果としてそのサービスを利用できなくなる。また、その際に利用可能センサの中で代替可能なセンサがあれば、それを利用してサービスを実行する。
- (f) 以上の工程を全てのユーザに対して行う。
- (g) (d)で抽出された利用可能センサを基に、考えられる全ての組合せを導出する。各組合せに対し、ユーザ毎にプライバシー影響度とサービス実行率の値を算出する。
- (h) (g)で算出された値を基に、プライバシーを重視する場合は、全ユーザのプライバシー

表3 シミュレーション(i)の結果

使用するセンサ	使用しないセンサ
カメラ1	カメラ2
光ファイバセンサ	カメラ3
照度センサ	カメラ4
時計	超音波センサ
タグリーダ	赤外線センサ
温度センサ	ドアセンサ

	ユーザA	ユーザB	ユーザC
プライバシー影響度	86	111	146
サービス実行率	0.363	0.400	0.600

ユーザA	利用可能サービス	ユーザC	利用可能サービス
照明制御	人がいたら点灯	テレビ制御	人がいたらON
	部屋が暗ければ点灯		好みの番組を表示
	位置に応じた制御		状態による制御
空調制御	既定の設定温度	空調制御	既定の設定温度
	状態に応じた制御		好みの室温にする(空間全体)
			好みの室温にする(ユーザの位置)
			状態に応じた制御

ユーザB	利用可能サービス
照明制御	人がいたら点灯
	部屋が暗ければ点灯
空調制御	既定の設定温度

表4 シミュレーション(ii)の結果

使用するセンサ	使用しないセンサ
カメラ4	カメラ1
超音波センサ	カメラ2
照度センサ	カメラ3
時計	光ファイバセンサ
ドアセンサ	赤外線センサ
温度センサ	タグリーダ

	ユーザA	ユーザB	ユーザC
プライバシー影響度	136	36	136
サービス実行率	0.400	0.375	0.250

ユーザA	利用可能サービス	ユーザC	利用可能サービス
照明制御	人がいたら点灯	空調制御	既定の設定温度
	部屋が暗ければ点灯		状態に応じた制御
空調制御	既定の設定温度		

ユーザB	利用可能サービス
照明制御	人がいたら点灯
	部屋が暗ければ点灯
空調制御	既定の設定温度

影響度の最大値が最小となる組合せを導出する。複数の組合せが存在する場合には、その中でサービス実行率が最大のものを導出する。

一方、サービスを重視する場合には、全ユーザのサービス実行率の中の最小値が最大となる組合せを導出する。複数の組合せが存在する場合には、その中でプライバシー影響度が最小のものを導出する。

5.3 シミュレーション

図4に想定するシチュエーションを示す。空間を利用するユーザを3名(A, B, C)とする。シミュレーションは、(i)各ユーザが離れている場合と、(ii)ユーザBとユーザCが矢印の方向へ移動した場合についてシミュレーションを行い、決定されたセンサ組合せと提供サービスの変化を確認する。

(i) 各ユーザが離れている場合

3名のユーザが離れた位置にいる場合(図4の初期位置)の結果を表3に示す。

(ii) ユーザBとユーザCが移動した場合

ユーザBとユーザCが図4の矢印の方向へ移動した場合の結果を表4に示す。

5.4 考察

シミュレーション結果より、(i)と(ii)を比較すると、サービス実行率が減少していることがわかる。これは、要求が異なるユーザが近くにいた場合、利用を許容しないユーザを優先させ、該当センサを利用しないものとしているためである。この処理方法においては、プライバシー影響度が増加しないことは自明である。

しかし、サービスに関する要求は必ずしも満足されているとは言えない。空間全体としてのサービス実行率を向上させるためには、情報の提供を許容していないユーザが近くにいたとしても、センシングを行わなければならない場合がある。そのため、提供すべきでない情報を取得してしまった際に、情報の破棄や加工によってサービスに利用しないようにするなど、取得情報の保護方法について対策が必要である。

6. まとめと今後の課題

本稿では、センサネットワーク空間におけるプライバシーとサービスに関するユーザの要求を実空間へ反映させるために、使用する最適センサ組合せを決定する方式について述べた。また、その方式を実現するシステムのプロトタイプの実装について述べ、簡易シミュレーションを通して、本プロトタイプがプライバシー保護とサービス提供を考慮したセンサ組合せを決定できる見通しを得た。

今後の課題は以下の通りである。

(1) システム実装

最適センサ組合せの決定から、実際に各センサを制御し、さらに取得した情報を組み合わせてサービス提供を行うまでの一連のステップをシステムに組み込むことを目指す。

(2) 実環境での適用実験

本稿で示したプロトタイプの実空間における有効性を示すため、2章で述べたSPANを配置した空間での適用実験を試みる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業「私立大学社会連携研究推進事業」(平成18年度～平成22年度):研究課題「測位/光神経複合センサノードによるユビキタス・モニタリング・ネットワークの開発とその産業応用への展開」の一環として実施したものである。記して、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 総務省, 平成16年版 情報通信白書:
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h16/index.html>
- [2] 村上康二郎:ユビキタス情報社会におけるプライバシー・個人情報の保護, *Mobile Society Review 未来心理*, Vol.005, モバイル社会研究所, 2006.3
- [3] 武田圭史:RFIDを用いたシステムの設計・導入におけるプライバシーの配慮,
http://motivate.jp/archives/2005/02/rfid_1.html
- [4] 中川紘志 他:センサネットワークにおけるプライバシーとサービス品質を考慮した提供情報決定方式の検討, *DICOMO2008*, pp.1956-1963, 2008.7
- [5] 一枚田隆史 他:センサネットワークにおけるプライバシー保護とサービス提供を実現するセンサ制御方式の検討, *DICOMO2008*, pp.205-213, 2008.7
- [6] 社会連携研究推進事業「測位,光神経複合センサノードによるユビキタス・モニタリング・ネットワークの開発とその産業応用への展開」:
<http://www.soka-span-project.jp>
- [7] 中川紘志 他:ユビキタスセンサネットワークにおけるプライバシー保護と高品質サービスを実現するユーザ要求抽出インタフェースの試作, *CSS2009* (発表予定)