

ホームネットワークシステムにおける環境インパクトの性質を考慮した 環境競合の再定式化

池上 弘祐[†] 稲田 卓也[†] まつ本真佑[†] 中村 匡秀[†]

[†] 神戸大学 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: †{ikegami,inada,matsumoto,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp

あらまし ホームネットワークシステム (HNS) を利用して、複数の家電を協調動作させる家電連携サービスの研究が進んでいる。単体では正常に動作する連携サービスを複数実行したとき、それらのサービスの持つ要求が干渉・衝突を起こし、ユーザの意図しない振る舞いが生じることがある。これをサービス競合と呼ぶ。先行研究にて、我々はサービス競合に「機器競合」と「環境競合」の2種類が存在することを述べ、サービス競合の検出解消手法を提案した。しかし、先行研究における環境競合の定式化は不十分であり、競合を誤検出してしまうケースや、検出できないケースが存在した。本稿では、機器操作による環境への影響を詳細に定義する環境インパクトモデルを提案し、影響の性質を考慮した環境競合の検出法を示す。また、ケーススタディとして、提案モデルを用いた競合の検出例を示す。
キーワード ホームネットワーク、連携サービス、サービス競合、環境競合

Redefining Environment Feature Interactions in Home Network System Based on Nature of Environmental Impacts

Kosuke IKEGAMI[†], Takuya INADA[†], Shinsuke MATSUMOTO[†], and Masahide NAKAMURA[†]

[†] Kobe University rokkoudaityou 1-1, nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8501 Japan

E-mail: †{ikegami,inada,matsumoto,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp

Abstract The integrated services of the home network system (HNS) orchestrate multiple networked home appliances to achieve value-added and comfortable services for home users. If multiple services are used at the same time, functional conflicts may occur among the services, which results in unexpected behaviors. This is known as feature interactions (FIs). We defined two kinds of FIs: appliance interactions and environmental interactions. Due to lack of the degree of environmental impact and explicit consideration of requirements, the previous formalization tends to overestimate many acceptable cases as feature interactions. To capture the environment interaction more precisely, this paper introduces an *environment impact model*, describing how much impact is given to the environment by each appliance operation within a service. We also describe user requirements by environment properties evaluated within the model. Then, the environment interaction is formalized as the unfulfilled requirement caused by the use of multiple services.

Key words home network, integrated service, feature interaction, environment interaction

1. はじめに

家庭内の家電機器やセンサをネットワークに接続し、付加価値サービスを実現する HNS (Home Network System) の研究、開発が盛んに行われている。HNS では、テレビ、照明、エアコン、カーテンといった家電機器や、温度計・照度計、騒音計といったセンサをネットワークに接続し、家庭内外から遠隔制御したり、連携制御することで、より便利で快適なサービ

スをユーザに提供する。各家電やセンサの持つ機能は、API (Application Program Interface) としてネットワーク上に公開され、利用者は様々な外部アプリケーションからネットワーク越しに各家電やセンサを連携・協調動作させて、付加価値の高い家電連携サービスを実現することができる。以下に連携サービスの例を示す。

- *ComingHomeService (CH)*: 夏場、ユーザの帰宅時に廊下照明・室内照明・冷房・アロマポットを連携制御し、ユーザ

を迎える。

- *TVTheaterService (TVT)*: テレビ・カーテン・室内照明を連携制御することで、映画館のような雰囲気 TV の視聴を行うことが出来るサービス。ユーザがサービスの実行を要求すると、照明が暗くなり、カーテンが閉まり、テレビがつく。

- *BGMService (BGM)*: 生活の背景にジュークボックスを用いて小さい音量でバックグラウンドミュージックを流すサービス。

- *AirCleaningService (AC)*: 空気清浄機を用いて空気清浄, 脱臭を行うサービス

様々な連携サービスが提供されている環境においては、単体で正常に動作する連携サービスであっても、複数の連携サービスを同時に実行した場合、機器や環境に対するサービスの要求が干渉・衝突を起こし、ユーザの意図しない動作が発生することがある。これをサービス競合と呼ぶ。[1][2] 以下にサービス競合の例を示す。

- 競合例 1 (CH vs TVT) CH サービスと TVT サービスを同時に実行した場合、CH サービスによって点灯していた室内照明が、TVT サービスの実行に伴って消されてしまう。

- 競合例 2 (CH vs TVT) CH サービスと TVT サービスを同時に実行した場合、CH サービスによる廊下照明の点灯により室内が明るくなってしまい、TVT サービスの提供する映画館のような雰囲気での TV の視聴が阻害される。

- 競合例 3 (TVT vs BGM) TVT サービスと BGM サービスを同時に実行した場合、BGM サービスの提供する音楽によって、TVT サービスの提供する TV の視聴に適した環境が阻害される。

- 競合例 4 (CH vs AC) CH サービスと AC サービスを同時に実行した場合、CH サービスの提供するリラックスする香りが AC サービスにより脱臭され、効果が薄れてしまう。

我々は、先行研究 [3] において、機器競合と環境競合の 2 種類のサービス競合を定義した。

機器競合は、異なる連携サービスが同一の機器に対して、電源の on と off 等、同時に両立しえない機器操作を要求した場合に発生する競合である。競合例 1 が該当する。一方、環境競合は、異なる連携サービスが、異なる機器に対して機器操作を要求したとき、それらの要求が HNS をとりまく環境を介して間接的に矛盾・干渉する場合に発生する競合である。競合例 2, 3, 4 は、明るさ、音楽コンテンツ、匂いといった環境を介してサービス同士が干渉・衝突を起こしており、環境競合にあたる。

先行研究において、我々は HNS をモデル化し、機器競合と環境競合の検出解消法を提案した。しかし、先行研究における環境競合の定義には幾つかの問題があり、環境競合を誤検出してしまふケースや、検出できないケースが多く存在した。本稿では、HNS における環境競合をより正確に検出するため、機器操作が環境に与える多様な影響を分類、モデル化し、環境競合を検出する新たな手法を提案する。

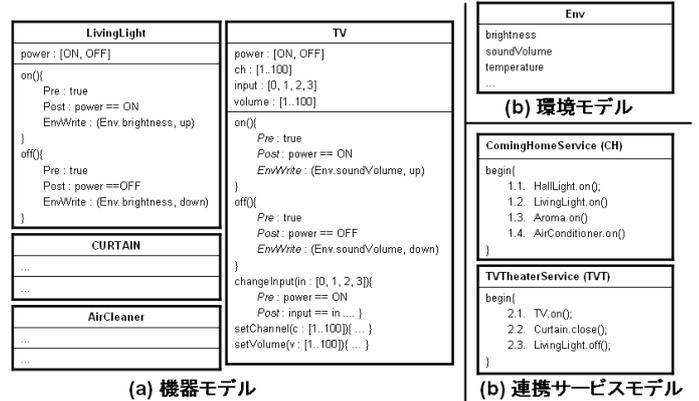


図 1 先行研究における HNS モデル

2. 準備

2.1 HNS モデル

先行研究 [3][5] において、我々は、HNS におけるサービス競合問題をオブジェクト指向に基づきモデル化し、サービス競合の検出・解消法の提案を行っている。また、松尾ら [4] は、環境への影響として新たに影響の向きを考慮した検出法の提案を行っている。図 1 に先行研究における機器モデル、環境モデル、連携サービスモデルを示す。機器モデルは、機器状態を表す機器プロパティと、機器操作を表すメソッドを持つオブジェクトであり、各メソッドは、以下の要素で定義される。

- *Pre*: 事前条件。メソッドの実行に必要なとなる機器の状態に関する条件

- *Post*: 事後条件。メソッドの実行後に成立する機器の状態に関する条件

- *EnvRead*: メソッドによって参照される環境プロパティの集合

- *EnvWrite*: メソッドによって更新される環境プロパティと影響の向きへの集合

図 1-(a) の TV の機器モデルを例にとると、TV は、power, ch, input, volume という機器プロパティを持ち、power は値として ON(電源 ON) か OFF(電源 OFF) をとる。また、機器メソッド on() は、事後条件により、メソッド実行後には、TV は電源 ON の状態になっていなければならない事を表し、同時に、環境プロパティの Env.sound を up 方向に更新することを表す。

環境モデルは、HNS が存在する空間の環境属性 (環境プロパティ) を持つオブジェクトとしてモデル化される。代表的な環境プロパティには、室温 (Env.temperature)、音量 (Env.volume)、明るさ (Env.brightness)、消費電力 (Env.electricity) 等が存在する。

連携サービスモデルは、実行する機器メソッドの系列によって表現される。図 1-(c) の TVT サービスは、TV を付ける、カーテンを閉める、室内照明を消す、という 3 つの機器操作の系列より構成されている。

2.2 HNS におけるサービス競合の定式化

先行研究では、上記モデルに基づいて機器競合および環境競合を以下のように定義している。

[定義 1] s_1, s_2 を任意の連携サービス, m_1, m_2 をそれぞれ s_1, s_2 に含まれる任意の機器メソッドとする。このとき、「 s_1 と s_2 が機器競合を生じる」とは、同機器内のメソッド m_1, m_2 が存在して以下の条件が成り立つときである。

- 条件 A1: $Post(m_1) \wedge Post(m_2) = \perp$ または,
- 条件 A2: $Post(m_1) \wedge Pre(m_2) = \perp$

直感的には、二つのサービスが同一機器内で目的の矛盾するメソッドを実行する (条件 A1) か、一方のメソッド実行により他方のメソッドが実行できなくなる (条件 A2) かで、機器競合を性質づけている。

[定義 2] 「 s_1 と s_2 が環境競合を生じる」とは、異なる機器のメソッド m_1, m_2 が存在して以下の条件が成り立つときである。

- 条件 E1: $\exists(p_1, d_1) \in EnvWrite(m_1);$
 $\exists(p_2, d_2) \in EnvWrite(m_2)[p_1 = p_2 \wedge d_1 \neq d_2]$ または

- 条件 E2: $\exists(p_1, d_1) \in EnvWrite(m_1);$

$\exists(p_2) \in EnvRead(m_2)[p_1 = p_2]$

直感的には、2 つのサービスが共通の環境プロパティを更新し、その際に影響の向きが異なる (条件 E1) か、一方が更新したものを他方が参照するとき (条件 E2) に、環境競合が生じ得るとしている。

競合例 2 では、TVT による室内照明の消灯メソッドと、CH による廊下照明の点灯メソッドが共に同一の環境プロパティ $Env.brightness$ を更新し、両メソッドの影響の向きが異なるため、条件 E1 を満たし環境競合となる。また、温度センサ等の $Env.temperature$ を参照する機器とは、冷房、暖房共に干渉が発生するため、条件 E2 を満たし環境競合となる。

2.3 先行研究における問題点

先行研究における、環境競合の定義に関して、以下の問題が存在した。

- 問題 P1: サービスの要求を考慮していない。

環境競合をより正確に捉えるためには、サービスが環境に対してどのような状態を要求しているかを明示的に考慮すべきである。競合例 2-1 のように、TVT の明るさに対する競合は、先行研究モデルを用いると、TVT の求める室内の明るさの度合いは考慮されず、常に環境競合となる。例えば、調光ランプやディスプレイ等、明るさに微少な影響しか与えない機器であるならば、TVT との両立が可能であるかもしれない。先行研究の定義においては、明るさに多少の影響がある HNS 機器 a_1, a_2 について、 $a_1.on()$ と $a_2.off()$ は明るさに対して異なる向きに作用し、環境競合となりえるため、ユーザの意図を超えて、環境競合が過大に検出される恐れがある。実行するサービスが求める明るさ、すなわちサービス要求を明に考慮することで、環境競合とすべきかの判断材料にできる。

- 問題 P2: 表現できる環境プロパティが少ない。

先行研究における環境競合モデルは、環境に対する影響の向きのみを利用して競合を定義している。このため、冷暖房の設

定温度のような、そもそも向きを持たない不可算的な影響や、音楽コンテンツや匂いコンテンツなどの、同じ向きをした作用と相容れない非数値的な環境プロパティを記述することができない。例えば、競合例 3 における音楽コンテンツにおける競合について、TV と JUKEBOX の音楽コンテンツに対する影響は、どちらも音楽コンテンツを提供するという同じ向きの作用であると考えられ、先行研究における定義では環境競合と検出されない。

3. 環境競合の再定式化

問題 P1, P2 を解決するため、機器が環境に与える影響 (環境インパクト) を詳細に表現する環境インパクトモデルを定義し、サービス環境要求に基づいた環境競合の再定式化を行う。

3.1 環境プロパティの分類

まず、問題 P2 における環境プロパティの表現能力を向上するため、全ての環境プロパティを、環境状態を数値として定量化することが可能かどうかという視点から、数値型と非数値型に分類する。

- 数値型: 値を数値で表現することのできるプロパティ。例: 明るさ ($Env.brightness$), 音量 ($Env.soundVolume$), 消費電力 ($Env.electricity$), 湿度 ($Env.humidity$), 温度 ($Env.temperature$) など。

- 非数値型: 値を数値以外の要素 (文字列, ラベル等) で表現するプロパティ。例: 映像コンテンツ ($Env.movieContent$), 音楽コンテンツ ($Env.soundContent$), 匂い ($Env.fragrance$), 煙 ($Env.smoke$) など。

3.2 HNS 機器の環境インパクトモデル

次に、機器が環境に与える影響を詳細に表現するため、状態遷移機械 (FSM) による環境インパクトモデルを導入する。 E を環境プロパティの集合、 d を HNS 機器としたとき、 d の環境インパクトモデルを、以下の状態遷移機械 I_d で定義する。

$$I_d = (S_d, M_d, T_d, \Delta, s_0)$$

- S_d は d の状態の集合,
- M_d は d の持つ機器メソッドの集合,
- $T_d \subseteq S_d \times M_d \times S_d$ は状態遷移の集合,
- $\Delta: T_d \times E \rightarrow Z$ は環境インパクト関数,
- s_0 は初期状態。

環境インパクトモデルはメソッド実行による機器の状態遷移をモデル化したものである。各状態遷移が環境プロパティに対し、どれだけインパクトを持つかを表す。図 2 に、本稿で利用する機器の環境インパクトモデルを示す。

例えば TV は $OFF(T1), ON(T2)$ の 2 状態を持ち、メソッド $on()$ の実行によって $T1$ から $T2$ への遷移が起こる。遷移に伴って生じる環境インパクトは 5 つあり、

- $Env.brightness+ = 30$
- $Env.soundVolume+ = 30$
- $Env.electricity+ = 200$
- $Env.soundContent \cup = \{tv\}$
- $Env.movieContent \cup = \{tv\}$

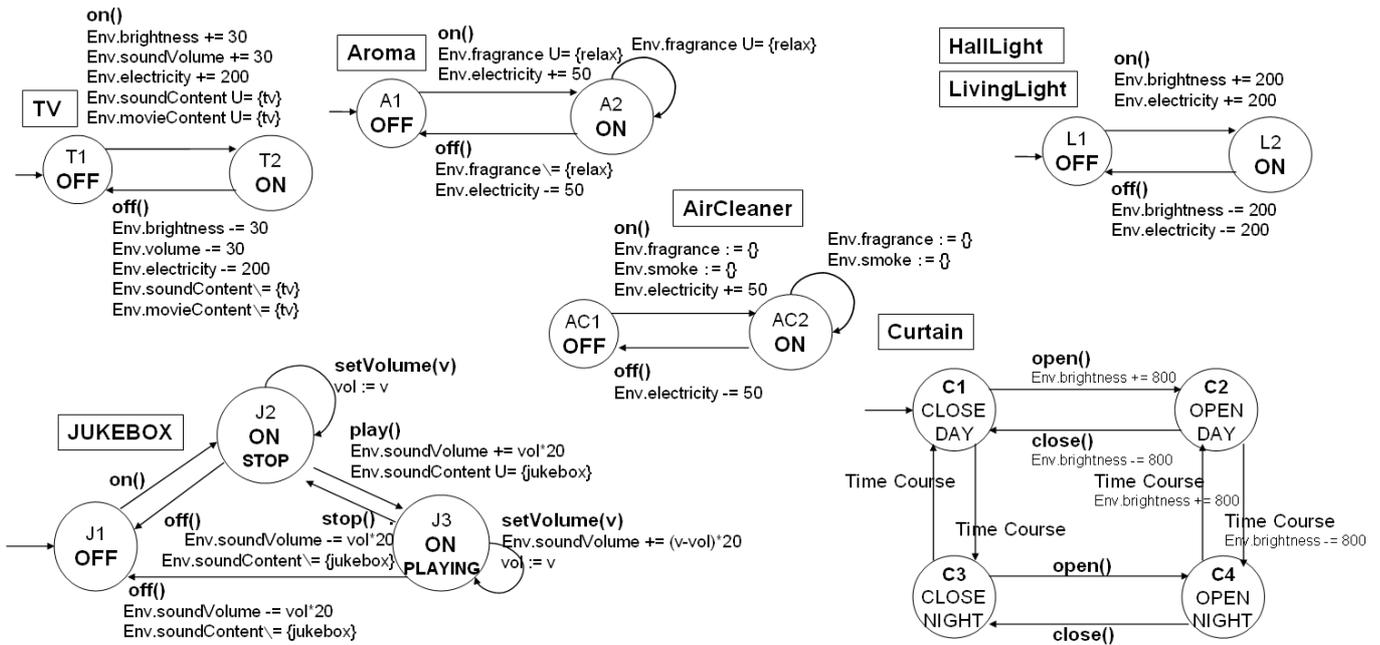


図2 提案する環境インパクトモデル

と定義される。これは、TV を OFF から ON にすることで、明るさ、音量、消費電力、音楽コンテンツ、映像コンテンツへそれぞれインパクトを与える。ここで、+=,-=はそれぞれ加算、減算演算子、U = は集合への要素追加演算子を表す。この環境インパクトは、メソッド on() の実行に伴って、明るさ (Env.brightness) に+30、音量 (Env.soundVolume) に+30、消費電力 (Env.electricity) に+200、音楽コンテンツ (Env.soundContent)、映像コンテンツ (Env.MovieContent) に tv が追加される作用を表している。

数値プロパティには数値型のインパクトのみが与えられ、非数値プロパティには非数値型のインパクトのみが与えられる。

3.3 環境インパクトの分類

競合例 4 において、AC サービスの持つ機器操作 AirCleaner.clean() は、他の機器が提供する匂いを全て清浄し、空間環境をある一定の状態へと置き換える作用を持っている。このような作用は、これまでに述べた可算的なインパクトだけでは記述ができない。よって、影響が可算的であるか否かという視点より、環境インパクトを可算インパクトと不可算インパクトに分類する。よって組み合わせにより、環境インパクトは以下に示す 4 種類である。

- 数値型かつ可算的：任意の数値型環境プロパティに対して、一定値を加減算 (+=-,-=) する作用を持つ。明るさ (Env.brightness) や、音量 (Env.soundVolume)、消費電力 (Env.electricity) に対する環境インパクトは、一般的に数値型かつ可算的である。これらのインパクトの値は、機器操作がそれぞれの環境に与える影響の大きさを、その意味を損なうことなく加減算ができるよう正規化した数値である。そのため、インパクトの値は、必ずしも明るさ、音量等の実際の変動値と一致するものではない。

- 数値型かつ不可算的：任意の数値型環境プロパティの値

を一定値に置き換える (:=) 作用を持つ。冷房を付け、室温が設定温度の温度の 28 となる作用を考えると、この作用は数値で表現することが出来るが、作用同士を足し合わせる事は不可能である。このような作用を、数値型かつ不可算的なインパクトとして、“*Env.temperature := 28*”と記述する。

- 非数値型かつ加算的：任意の非数値型環境プロパティに対して、コンテンツを put, remove(U =, \ =) する作用を持つ。アロマポットによるリラックスする香りを提供する作用“*Env.fragrance U = {relax}*”は、非数値型かつ加算的な環境インパクトである。

- 非数値型かつ不可算的：任意の非数値型環境プロパティの値を、一定の集合に置き換える (:=) 作用を持つインパクト。空気清浄機による匂いの清浄化作用“*Env.fragrance := {}*”が該当する。

3.4 環境作用

連携サービス s によって複数の機器操作が実行されていくと、環境に対して様々なインパクトが加えられていく。ここで、環境プロパティごとに環境インパクトの累計を計算し、連携サービスの環境に対する作用 (環境作用, Environmental Effect) と定義する。 s を連携サービス、 $[t_1, t_2, \dots, t_x]$ を s の実行によって起こった環境インパクトモデルの遷移系列とする。この時、ある環境プロパティ $e \in E$ に対する s の環境作用 $EE(s, e)$ を以下のように定義する：

$$EE(s, e) = \sum_i^x \Delta(e, t_i)$$

また、 $[t'_1, t'_2, \dots, t'_m]$ を現在実行中の全ての連携サービスの実行によって起こった遷移系列とする。この時、特定のサービス s によらない環境作用 $EE(e)$ を以下のように定義する：

$$EE(e) = \sum_i^m \Delta(e, t'_i)$$

さらに、連携サービス s を除く連携サービスによる EE を排

<pre> TVTheaterService (TVT) begin{ 1.1.1. TV.on(); 1.1.2. Curtain.close(); 1.1.3. LivingLight.off(); } EReq{ 1.2.1. XEE(TVT, Env.soundVolume) < 200 1.2.2. XEE(TVT, Env.brightness) < 200 1.2.3. XEE(TVT, Env.soundContent) is {} 1.2.4. XEE(TVT, Env.movieContent) is {} } </pre>	<pre> ComingHomeService (CH) begin{ 3.1.1. HallLight.on(); 3.1.2. LivingLight.on(); 3.1.3. Aroma.on(); 3.1.4. AirConditioner.on(); } EReq{ 3.2.1. EE(Env.fragrance) contains {relax} } </pre>
<pre> BGM begin{ 2.1.1. JUKEBOX.on(); 2.1.2. JUKEBOX.play(); } EReq{ } </pre>	<pre> AirCleaner (AC) begin{ 4.1.1. AirCleaner.on(); } EReq{ 4.2.1. EE(Env.fragrance) is {} 4.2.2. EE(Env.smoke) is {} } </pre>

図 3 提案する連携サービスモデル

他環境作用と呼び、以下のように定義する。

$$XEE(s, e) = EE(e) - EE(s, e)$$

非数値プロパティの環境作用 EE は、文字列値の集合である。例えば、機器 Aroma による “ $Env.fragrance \cup = \{relax\}$ ” のみが与えられているときの $EE(Env.fragrance)$ は、 $\{relax\}$ となる。

同一の環境プロパティに、複数の不可算インパクトが与えられている状況を考える。実世界における環境状態は、機器の強弱関係等により 1 状態に収束するため、一部もしくは全ての不可算インパクトにおいて、インパクトが期待する環境状態と実世界における環境状態に乖離が生じる。しかし、この乖離がユーザの不利益や興味の対象となるとは必ずしも言えず、直ちに環境競合となる訳ではない。例えば、異なる冷房機器が同一空間に存在し、それぞれが “ $Env.temperature := 28$ ” 及び “ $Env.temperature := 26$ ” の冷房の設定温度に関するインパクトを与えているものとする。この場合、これらのインパクトが同時に提供されているだけでは環境競合とは言えず、他サービスの環境要求や環境制約と比較する必要がある。このとき、環境作用 $EE(Env.temperature)$ の値は、 $28 \text{ or } 26$ と記述する。

3.5 環境要求

サービス s が環境に対して求める条件を、サービス環境要求 ($EReq$) と呼び、環境作用を用いた論理式 ($EReq(s)$) として定義する。

図 3 に、提案法に基づいて記述した、1 章で例示した 4 つの連携サービスの機器操作 (begin) とサービス環境要求 (EReq) を示す。例えば図において、TVT サービスは「1.1.1:TV を付ける」、「1.1.2:カーテンを閉じる」、「1.1.3:リビングライトを消す」という 3 つの機器操作から構成され、「1.2.1:辺りが静かであってほしい」、「1.2.2:辺りが暗くあってほしい」、「1.2.3:同時に他の音楽コンテンツが提供されないでほしい」、「1.2.4:同時に他の映像コンテンツが提供されないでほしい」という 4 つのサービス環境要求を持っている。

非数値プロパティに対するサービス環境要求 (EReq) は、要素の集合である環境作用 EE または XEE が、ある要素

を含む集合である (contains) か、または任意の要素のみで構成される集合である (is) かという条件判別式で記述する。例えば、TVT サービスの「1.2.3:同時に他の音楽コンテンツが提供されないでほしい」というサービス環境要求は、 is を用いて “ $EE(Env.soundContent) \text{ is } \{\}$ ” と記述する。また、BGM サービスの「2.2.1:他の音楽コンテンツの提供の有無には関心がなく、自サービスの音楽コンテンツの提供が問題なければよい」という要求は、contains を用いて、 “ $EE(Env.soundContent) \text{ contains jukebox}$ ” と記述する。

3.6 環境制約

また、環境に求められる条件には、サービスが要求するもののほか、元来環境で定められる「使用ルール」や「電気容量」といった制約がある。このようにサービスに依存せず、環境が元来持っている制約条件を、環境制約と呼び、環境作用を用いた論理式で定義する。例えばある家で、「同時使用電力が 2000kW 未満でなければならない」という使用ルールが決まっていたとする。この時の環境制約は、

$$G = EE(Env.electricity) < 2000$$

と記述する。連携サービス s の環境要求 $EReq(s)$ は通常 G を満たす範囲で与えなくてはならない。

複数の不可算インパクトが同一プロパティに与えられており、or で区切られた複数の値を持つ環境作用を含む環境要求及び環境制約を評価する場合は、区切られた値のいずれかが要求や制約を満たさないと、要求や制約全体が満たされないものとする。

例えば前章に示した $EE(Env.temperature) = 28 \text{ or } 26$ に対して、“ $EE(Env.temperature) < 27$ ” という環境要求が与えられたとき、この環境要求は満たされず、環境競合が生じる。冷房の設定温度の場合のみを考えた場合には、より優先されるであろう設定温度値の下限値のみで比較する方法が考えられるが、他の環境プロパティを考えた場合、その性質によって、上限値や中間値での比較が適切となる場合や、文字列値同士の比較となる場合が考えられる。よって、適切な簡略化として、値全てでの比較を行い、環境競合を最大数検出し、以後の解消のステップでの解決を図る。

3.7 環境競合の再定義

サービス競合を定義するため、まず単体の連携サービスが、環境の面において正常に動作するという概念を定義する。

[定義 3] 連携サービス s が正常動作するとは、環境インパクトモデルにしたがって実行された s が、環境要求 $EReq(s)$ と環境制約 G を共に満たすことと定義する。またこのことを、 $s \vdash EReq(s) \wedge G$ と書く。

次に、連携サービス s_1, s_2 を考える。 s_1 と s_2 の環境競合は「それぞれは正常動作するが、両方実行すると正常動作しない」という条件になるから、以下のように定義できる。

[定義 4] (2 者間環境競合) s_1, s_2 を連携サービス、 $[s_1; s_2]$ を両サービスの逐次実行 (s_1 の後 s_2 の順) とする。この時、 s_1 と s_2 が環境競合を起こすとは、以下の条件が全て満たされることである。

条件 B1: $s_i \vdash EReq(s_i) \wedge G \ (i = 1, 2)$

条件 B2: $[s_1; s_2] \not\vdash EReq(s_1) \wedge EReq(s_2) \wedge G$

s_1 と s_2 が環境競合を起こすとき, $EnvFI(s_1, s_2)$ と書く.

条件 B1 は s_1 と s_2 がそれぞれ単独で正常動作することを表す. 条件 B2 は両者を実行すると, s_1 または s_2 の環境要求が満たされなくなるか, 環境制約 G を満たせなくなることを表している.

環境競合は複数のサービスからの影響を表す環境作用と, 環境制約, サービス環境要求との間の競合である. よって, 環境競合は 2 つのサービス間に留まらず, n 個のサービス間で発生しうる. n 者間に拡張した環境競合の定義を以下に示す.

[定義 5] (n 者間環境競合) $[s_1; s_2; \dots; s_{n-1}]$ を現在実行中の連携サービスの系列とし, s_n を新たに実行する連携サービスとする. このとき, 実行中のサービス $\{s_1, s_2, \dots, s_{n-1}\}$ と s_n が環境競合を生じる ($EnvFI(\{s_1, \dots, s_{n-1}\}, s_n)$ と書く) とは, 以下の条件が全て満たされることである.

条件 C1: $\neg EnvFI(\{s_1, \dots, s_{i-1}\}, s_i)$ ($i = 2, 3, \dots, n-1$)

条件 C2: $[s_1; s_2; \dots; s_n] \not\vdash EReq(s_1) \wedge \dots \wedge EReq(s_n) \wedge G$

条件 C1 は 2 者間環境競合 (定義 4) を基底とする再帰的な条件となっている. $n-1$ 個のサービス間では環境競合が起こらなかったことを表している. この条件の下, 条件 C2 で n 個目のサービスを実行すると環境要求または環境制約が満たせなくなってしまうということを表している.

4. ケーススタディ

1 章で例示した環境競合例について, 提案した環境インパクトモデルを用いて競合検出を行ったケーススタディを示す.

• 競合例 2 (CH vs TVT)

CH サービスを実行中に TVT サービスを実行する例である. CH サービスによって実行されたメソッド `HallLight.on()` により, 明るさに関する環境作用は, $EE(Env.brightness) = 200$ となっている. この結果, TVT サービスの「周りが暗くあってほしい」という環境要求 $XEE(Env.brightness, TVTheater) < 200$ が満たされなくなり, 環境競合として検出される. 先行研究モデルでは, サービスの要求を考慮しないために, 廊下照明の明るさと TVT サービスの求める明るさの強弱に関わらず, その全てを環境競合としており, 過剰に環境競合を検出していた.

• 競合例 3 (TVT vs BGM)

TVT サービスを実行中に BGM サービスを実行する例である. TVT サービスは, 非数値プロパティである音楽コンテンツ ($Env.soundContent$) を自分だけが提供したいという環境要求 $XEE(TVT, Env.soundContent) is \{\}$ を持つ. しかし, BGM サービスが機器操作 `JUKEBOX.on()` 及び `JUKEBOX.play()` を実行することで, JUKEBOX による音楽コンテンツの提供が始まる ($Env.soundContent \cup = \{jukebox\}$). よって, TVT サービスの環境要求が満たされなくなり, 環境競合が検出される. 以前の定義においては, 同じ向きの環境に対する作用は環境競合として検出することができなかった.

• 競合例 4 (CH vs AC)

CH サービスを実行中に AC サービスを実行する例である. CH サービスは, 機器操作 `Aroma.on()` を実行し,

リラックスする香りのインパクト $Env.fragrance \cup = \{relax\}$ を提供する. 一方で AC サービスは, 機器操作 `AirCleaner.on()` を実行し, 匂いを除去するインパクト $Env.fragrance is \{\}$ を提供する. このとき, 匂いに関する環境作用は $EE(Env.fragrance) = \{relax\} or \{\}$ となり, CH サービスの「リラックスする香りを提供できている」という環境要求 $EE(Env.fragrance) contains \{relax\}$ および, 「辺りが無臭である」という AC サービスの環境要求 $EE(Env.fragrance) is \{\}$ を満たさなくなるため, 環境競合が検出される.

5. 終わりに

本稿では, 機器による環境への影響を詳細に記述できる環境インパクトモデルを用いて環境競合の再定式化を行い, ケーススタディを通して提案の有効性を確認した. 先行研究においてみられた環境競合の過検出を防ぎ, 既存の環境プロパティや, コンテンツに関する環境競合の記述能力を大きく向上させるものとなった. 現在は一部屋内の環境のみをモデル化しているが, 今後は家全体の環境モデルを構築し, 複数の場にまたがった環境競合や, 外部の影響を考慮した競合検出解消をすることを課題としている.

文 献

- [1] M. Calder, E. Magill, M. Kolberg, and S. Reiff-Marganiec, “Feature Interaction: A Critical Review and Considered Forecast”, *Computer Networks*, Volume 41/1, pp.115-141, North-Holland, January 2003.
- [2] M. Kolberg, E. H. Magill, and M. Wilson, “Compatibility Issues Between Services Supporting Networked Appliances”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 11, Nov 2003 pp. 136-147
- [3] M. Nakamura, H. Igaki, K. Matsumoto. “Feature Interactions in Integrated Services of Networked Home Appliances -An Object-Oriented Approach-,” In Proc. of Int’l. Conf. on Feature Interactions in Telecommunication Networks and Distributed Systems (ICFI’05), pp.236-251, July 2005.
- [4] T. Matsuo, P. Leelaprute, T. Tsuchiya, and T. Kikuno 松尾尚文, リーラブルット パッタラ, 土屋 達弘, 菊野 亨, “Verifying Feature Interactions in Home Network Systems,” *IPSI Journal*, Vol. 49, No. 6, pp. 2129-2143, 2008.
- [5] M. Nakamura, H. Igaki, Y. Yoshimura, and K. Ikegami. Considering Online Feature Interaction Detection and Resolution for Integrated Services in Home Network System. *10th International Conference on Feature Interactions in Telecommunications and Software Systems (ICFI2009)*, 191-206, June 2009.