

Modelo para aplicaciones sensibles al contexto (MASCO): Un caso de estudio para validación.

Evelina Carola Velazquez¹, Ariel Nelson Guzman Palomino¹, María del Pilar Galvez Díaz¹, Nélica Raquel Caceres¹

Universidad Nacional de Jujuy – Facultad de Ingeniería, San Salvador de Jujuy,
Jujuy, Argentina
{mdpgalvezdiaz,nrcaceres}@fi.unju.edu.ar

Resumen. Este trabajo presenta la implementación de un caso de estudio para controlar en forma automatizada el funcionamiento de un invernadero utilizando el modelo MASCO para aplicaciones sensibles al contexto. El invernadero incluye sensores y actuadores y los valores de las variables de contexto consideradas para un normal desarrollo del cultivo presentan dependencia. Se realiza un trabajo de simulación, se obtiene una fórmula matemática para manejar la interdependencia de las variables de contexto y se utilizan patrones de diseño para abordar la complejidad. Como conclusión los patrones de diseño aplicados permiten mantener la integridad estructural y la característica de flexibilidad del modelo.

Palabras Clave: Ingeniería de Software - Modelos - Patrones - Context Aware

1 Introducción

Las aplicaciones sensibles al contexto permiten determinar lo que ocurre entre el sistema y su entorno, determinando qué, cómo y cuándo se presentan eventos externos a los que el sistema debe responder. En este contexto, se presenta la implementación de un proceso de control automático del clima de un invernadero, utilizando el Modelo MASCO, con el fin de determinar la adaptabilidad del modelo al caso propuesto y la flexibilidad del mismo para alcanzar un estado estable en el sistema. En el apartado 2 se describe el modelo MASCO, en el apartado 3 se describe el caso de estudio: Invernadero, en el apartado 4 se especifican las características de la implementación realizada y los patrones de diseño utilizados para dar solución a la toma de decisiones, en el apartado 5 se presentan las conclusiones y en el apartado 6 presentan las referencias.

2 Modelo MASCO

El Modelo MASCO (Modelo que provee servicios para aplicaciones sensibles al contexto) tuvo su origen en una extensión del modelo presentado en Gordillo [1] que considera servicios sensibles a la variable de contexto ubicación y al perfil del usuario

tomando como referencia el framework Context Toolkit basado en Widgets [2] y el modelo de automatización CIM -Computer Integrated Manufacturing- [3] que constituye un modelo de referencia que da soporte a aplicaciones industriales.

En las aplicaciones sensibles al contexto, donde existe más de una variable de contexto, el sistema debe gestionar diversos comportamientos u ofrecer diversos servicios en base al cambio de valor o de estado de una ó más variables de contexto o de su combinación. Además un objeto entidad o un objeto variable de contexto de la aplicación puede tener que relacionarse con uno ó más objetos que representan cada uno una variable de contexto o entidad. [4]

El hardware para el sensado evoluciona constantemente. Las reglas de sensado varían de acuerdo a las capacidades del hardware. Los datos sensados deben ser interpretados y la aplicación debería aparecer transparente a estos procesos. Esto se logra desacoplando los sensores de su lógica y lo concerniente a la aplicación [1]. MASCO, que contempla todas estas situaciones planteadas, se presenta en la Fig. 1, las áreas sombreadas representan los componentes presentados en [1] y las áreas punteadas las modificaciones realizadas a través de los trabajos presentados en [4], [5], [6], [7].

MASCO es un modelo en capas, donde se identifican cinco capas que se describen a continuación: [6]

- Application Layer: se encuentran los objetos del dominio de la aplicación.
- Context Layer: contiene los objetos necesarios para procesar la información de contexto.
- Service Layer: contiene los objetos necesarios para proveer servicios tanto internos como externos al sistema.
- Sensing Concern Layer: se encarga de interpretar o traducir los datos que provienen de Hardware Abstractions Layer.
- Hardware Abstractions Layer: en esta capa se agrupan los objetos que representan los sensores y actuadores.

3 Caso de estudio: Invernadero

El caso de estudio corresponde a la implementación de un sistema de control climático para un invernadero cuyos procesos se encuentran automatizados, el cual realiza el seguimiento de los parámetros de interés a través de sensores, comprueba las condiciones ambientales internas del invernadero en base a los valores sensados y las corrige utilizando actuadores sobre dispositivos automáticos instalados (ventanas laterales, riego por goteo, etc.), de manera que las condiciones climáticas sean óptimas para el correcto desarrollo y crecimiento de los cultivos allí ubicados. Para esto se establece un único proceso que consiste en el control de los parámetros de interés centralizados en el monitoreo de las cuatro variables principales del proceso fotosintético de una planta, las cuales constituyen variables de contexto para el modelo MASCO que deben comprobarse y corregirse si se presentan valores anómalos. Estas variables son: luminosidad, temperatura, dióxido de carbono y humedad relativa.

Luminosidad: Es la cantidad de radiación que es proyectada por una fuente de energía. En el caso de estudio es provista por el sol o por una fuente artificial que asegura que la planta reciba la cantidad de radiación necesaria para optimizar el proceso de fotosíntesis.

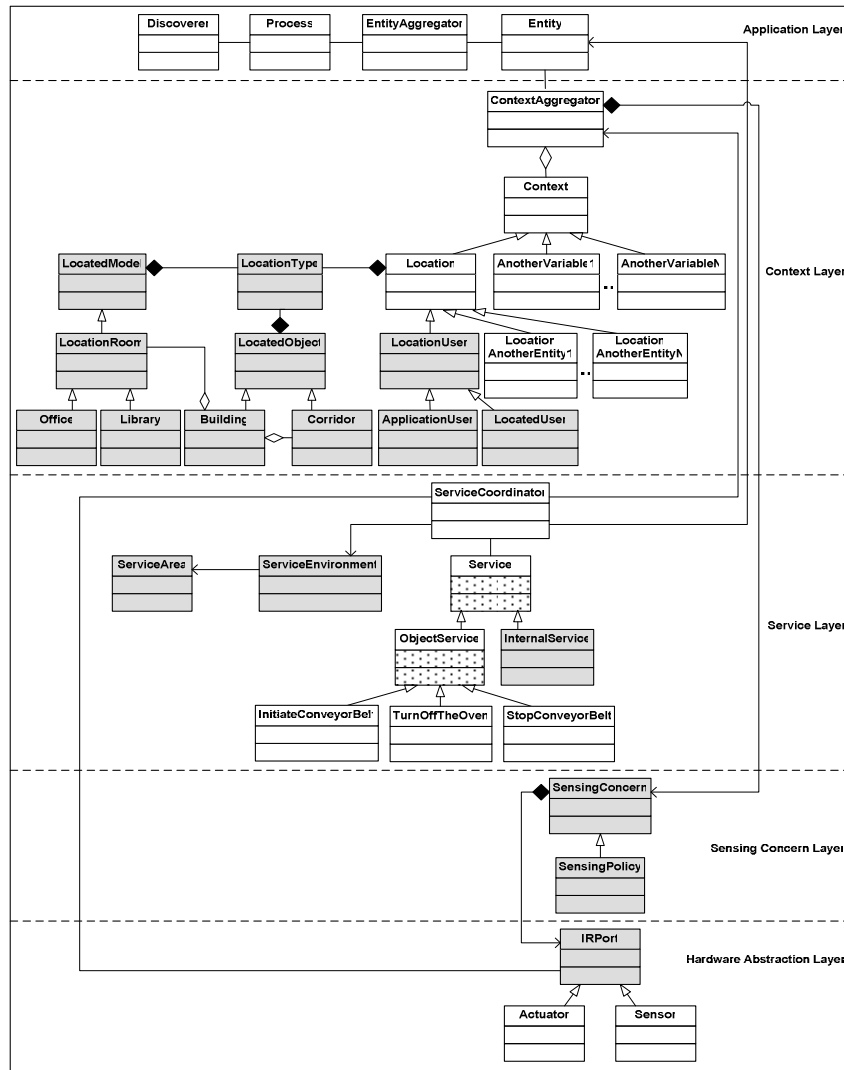


Fig. 1. Modelo MASCO

Temperatura: esta magnitud influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La temperatura óptima general para las plantas se encuentra entre los 10 y 20° C. Para su manejo es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Se deben tener en cuenta además los valores que se deben alcanzar para el crecimiento óptimo del cultivo y sus limitaciones:

- Temperatura mínima letal: Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.
- Temperaturas máximas y mínimas biológicas: Indican valores, por encima o por debajo respectivamente, de los cuales no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.
- Temperaturas nocturnas y diurnas: Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

La temperatura en el interior del invernadero se encuentra en función de la radiación solar, comprendida entre 200 y 4000 W/m²; cuando la radiación solar es insuficiente para mantener la temperatura necesaria se toma la decisión de activar la fuente artificial de energía respetando los valores requeridos de las demás variables de contexto. Estableciendo una relación de dependencia entre la Temperatura y la Luminosidad.

Dióxido de Carbono: el anhídrido carbónico (CO₂) de la atmósfera es la materia prima imprescindible de la función clorofílica de las plantas. La concentración normal de CO₂ en la atmósfera es del 0,03%. Este índice debe aumentarse a límites de 0,1-0,2%, cuando los demás factores de la producción vegetal sean óptimos, si se desea el aprovechamiento al máximo de la actividad fotosintética de las plantas. Las concentraciones superiores al 0,3% resultan tóxicas para los cultivos. Los niveles aconsejados de CO₂ dependen de la especie o variedad cultivada, la radiación solar, la ventilación, la temperatura y la humedad. El óptimo de asimilación está entre los 18°C y 23° C de temperatura, descendiendo por encima de 23-24° C. Respecto a la luminosidad y humedad, cada especie vegetal tiene un valor óptimo distinto.

Sin embargo, no se puede hablar de una buena actividad fotosintética sin una óptima luminosidad. La luz es factor limitante, y así, la tasa de absorción de CO₂ es proporcional a la cantidad de luz recibida, además de depender también de la propia concentración de CO₂ disponible en la atmósfera de la planta. Se puede decir que el periodo más importante para el enriquecimiento carbónico es el mediodía, ya que es el momento en que se producen las máximas condiciones de luminosidad. Aquí también se establece una relación de dependencia entre la concentración de Dióxido de Carbono y la Luminosidad.

Humedad Relativa (HR): la humedad es la masa de agua en unidad de volumen o en unidad de masa de aire, cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. Una característica importante para el caso de estudio es la relación inversa entre la Temperatura y la Humedad Relativa: si la temperatura es elevada disminuye la HR, caso contrario la HR aumenta, lo que implica encontrar el equilibrio entre ambas cantidades para optimizar la fotosíntesis de la planta.

La Humedad Relativa del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse, además de los problemas en el cuajado.

3.1 Relación entre las variables de contexto

Al analizar el comportamiento de las variables de contexto consideradas para el caso de estudio, se observó una fuerte vinculación entre ellas, esto determina la condición del sistema de control que maneja la interacción de variables para mantener las condiciones estables del invernadero, esta vinculación es necesaria para lograr una fotosíntesis exitosa en las plantas. Esta interacción y la manera de realizar su control es motivo de estudio en este trabajo.

Relación vinculante de las variables de contexto:

- Luminosidad:
 - Temperatura. (Proporcionalmente).
 - Dióxido de Carbono. (Proporcionalmente).
 - Humedad Relativa. (Proporcionalmente).
- Temperatura:
 - Dióxido de Carbono. (Proporcionalmente).
 - Humedad Relativa. (Inversamente proporcionalmente).

Se puede generalizar esta vinculación de la siguiente forma:

$$t = f(l) \quad (1)$$

Donde t (temperatura) es función f de l (luminosidad) y:

$$c = g(t, l) \equiv c = g(f(l), l) \equiv c = g(l) \quad (2)$$

Donde c (dióxido de carbono) es función g de t (temperatura) y l (luminosidad), pero teniendo en cuenta que t también es función de l podemos concluir que dióxido de carbono depende de l y t , pero con mayor prioridad depende de l .

$$h = h(t, l) \equiv h = (f(l), l) \equiv h = h(l) \quad (3)$$

Donde h (humedad relativa) es función h de t (temperatura) y l (luminosidad), ya que t depende de l , entonces h depende de l y t , pero con mayor prioridad de l .

De (1), (2) y (3) deducimos que existe un orden prioritario de efectos entre las variables de contexto que poseen vinculación: Luminosidad, Temperatura, Dióxido de Carbono y Humedad Relativa.

3.2 Sensores

Para realizar el monitoreo de los valores de las variables de contexto se utilizan valores simulados de sensores en un período de tiempo predefinido, que depende del tiempo en el cual se realiza un cambio en el valor de la misma que sea representativo para el análisis y la apreciación del experto. La toma de valores se produce en el mismo período para las cuatro variables de contexto a fin de combinarlas para su evaluación y posterior decisión de acción correctiva. Se utilizaron sendos tipos de sensores para monitorear los valores de las cuatro variables de contexto, para el presente trabajo se considera la utilización de un sensor por cada una.

Se establece que la entidad a considerar es una planta de una especie en particular.

3.3 Actuadores

Los Actuadores son dispositivos de manejo automático de objetos, que corrigen los valores anómalos de una o más variable de contexto, así por ejemplo, una ventana lateral, que es un objeto para disminuir la temperatura dentro del invernadero, posee uno o más actuadores, motores, que permiten su apertura o cierre regulado. Para el caso de estudio, los actuadores corresponden a motores, servomotores y demás dispositivos que comandan los objetos que son utilizados para corregir los valores:

- Temperatura: Ventanas Laterales, Ventilador Refrigerante, Papel Refrigerante, Ventilador Calefactor y Bomba asociada a un termo tanque para levantar la temperatura.
- Humedad Relativa: Bomba electroválvulas, Pico de Riego, Riego por goteo.
- Iluminación: Fococélula con reloj interno del controlador y grupo de luces.
- Concentración de Dióxido de Carbono: Compuertas de ventilación.

El control del ambiente del invernadero se realiza simulando el proceso de sensado, generando valores para las cuatro variables de contexto a partir de funciones que respetan su relación de dependencia, así por ejemplo, para la variable luminosidad, se generan valores de acuerdo a la siguiente función:

$$y = 0,0026x^6 - 0,2115x^5 + 6,6352x^4 - 98,616x^3 + 683,09x^2 - 1599,1x + 1584 \quad (4)$$

Donde y es función polinomial de grado 6, la cual es una línea de tendencia realizada de acuerdo a la gráfica real dibujada para valores de luminosidad reales tomados por hora de un día de otoño. Así para los valores tomados de acuerdo a la Tabla 3, tendremos una gráfica y una línea de tendencia como se ve en la Fig. 2.

Tabla 3. Valores de Luminosidad.

Hora	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00
Luminosidad	500	500	1000	1000	2000	2000	3000	3000
Hora	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
Luminosidad	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Hora	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Luminosidad	3000	3000	3000	3000	3000	3000	1000	1000

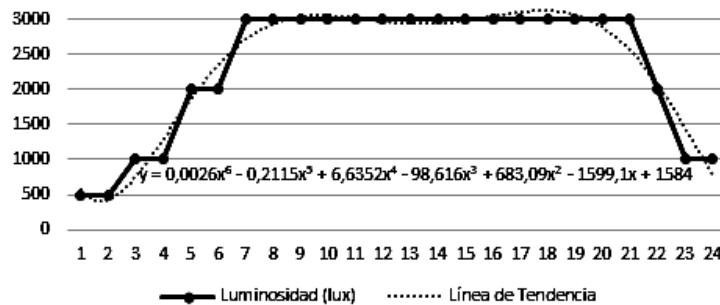


Fig. 2. Gráfico de Función de Tendencia de Luminosidad de un día de otoño en base a los valores sensados reales.

De la misma manera se simulan las otras 3 variables de contexto y uso de actuadores, cuyo uso afecta las condiciones climáticas dentro del invernadero.

3.4 Condiciones óptimas generales para el crecimiento de la planta

Las condiciones óptimas generales para el mejor crecimiento de las plantas requieren una luminosidad mayor, lo cual produce un aumento de la temperatura, la humedad relativa y del dióxido de carbono.

Sin embargo, el aumento de la temperatura disminuye la humedad relativa, lo cual hace necesario algún mecanismo que compense estas condiciones de manera tal que puedan producirse los valores óptimos, es decir, mayor luminosidad, la cual se presenta naturalmente por la radiación solar, que se considera en amplitudes de entre 12 y 16 hs dependiendo de la estación del año y la zona donde se implanta el invernadero, temperatura alta entre 10°C y 20°C, valores de humedad relativa alta, concentraciones de dióxido de carbono de entre 0.1 y 0.2%, que se establece en la Tabla 4. Sin embargo, cabe destacar que estas son condiciones generales, ya que cada planta de una especie en particular posee condiciones óptimas propias.

Tabla 4. Condiciones óptimas generales para el proceso de fotosíntesis

Valores sensados	Valores óptimos para la fotosíntesis	Actuadores
Iluminación → Mayor	Mayor	Prender Luminaria cuando oscurezca.
Temperatura → Alta	Alta	Verificar si la temperatura no supera los 20°C. El rango permitido es de [10°C,20°C].
HR → Normal	Alta	Disminuir la temperatura dentro del rango permitido [10°C, 20°C], para que la humedad relativa aumente.
CO2 → Normal	Alta	Aumentar la temperatura entre [18°C, 23°C] para que el CO2 aumente.

4 Características de la Implementación

Para realizar la implementación del caso de estudio utilizando el modelo MASCO, fue necesario adaptarlo a las características mencionadas en el apartado 3. Se trabajó capa por capa y se recurrió al uso de patrones para dar soporte al proceso de decisión sobre invocación de servicios para corregir valores anómalos en base a las condiciones actuales del contexto, es decir, de las variables de contexto analizadas como un conjunto dada la dependencia que existe entre ellas mencionada en el apartado 3.1, buscando además que exista bajo acoplamiento en todo el procedimiento de monitoreo, control, verificación, decisión y ejecución de servicios de corrección. A continuación se especifican los patrones utilizados en cada una de las capas adaptadas de MASCO al caso de estudio brindando soluciones a los problemas que se presentaron en cada caso.

4.1 Hardware Abstraction Layer

Se especifican las clases que representan los sensores para monitorear las cuatro variables de contexto: Luminosidad, Dióxido de Carbono, Humedad Relativa y Temperatura, y los actuadores necesarios para los dispositivos que las regulan aumentando o disminuyendo sus valores, como se muestra en la Fig. 3.

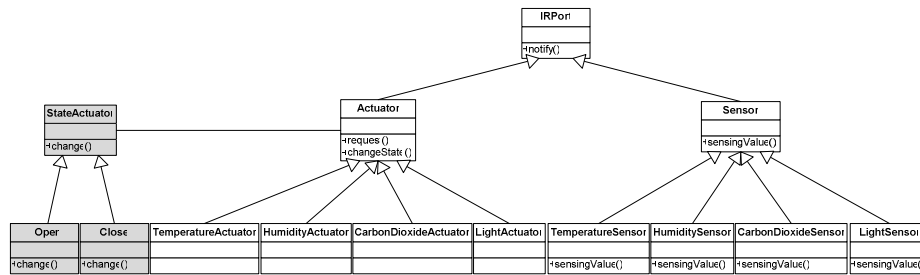


Fig. 3. Hardware Abstraction Layer

Se implementó el patrón State en la clase StateActuator, áreas sombreadas en la Fig. 3, para determinar el estado en el que se encuentran cada uno de los actuadores. Así se establece su disponibilidad para llamar los servicios sobre estos y realizar acciones de regulación sobre los dispositivos como ventanas, riego por goteo, etc. Se decidió utilizar este patrón ya que simplifica la determinación del estado sobre los actuadores. De otro modo significaría colocar sensores a los actuadores agregando complejidad y mezclando los dispositivos de toma de valores de variables de contexto con aquellos que los regulan.

Las clases Open y Close determinan los dos posibles valores de los actuadores, esto indica si el dispositivo regulador sobre el que actúa está actualmente abierto o cerrado, permitiendo llamar a funciones de corrección en las clases que corresponden a los actuadores. Además se especificó una herencia sobre la clase sensor, que permite agregar tipos diferentes de sensores.

4.2 Sensing Concern Layer

Se especifican las políticas para convertir los datos obtenidos por los sensores a datos que pueden ser procesados y entendidos para la toma de decisiones posterior (Fig. 4). La clase SensingConcern recibe los valores de los sensores mediante la implementación de un patrón Observer, que viene determinado desde el Modelo MASCO. SensingConcern no conoce el momento en que son monitoreados los valores de las variables de contexto, Hardware Abstraction Layer envía la notificación en cuanto los valores son monitoreados, esto se realiza en el mismo momento para las cuatro variables de contexto para garantizar la evaluación conjunta de la condición del ambiente. Además, para poder aplicar una política de conversión adecuada de los valores a cada variable de contexto monitoreada se aplica un patrón Strategy, así la clase SensingPolicy determina las reglas de transformación.

Una vez realizada la transformación de los valores se notifica a la clase ContextAggregator de Context Layer.

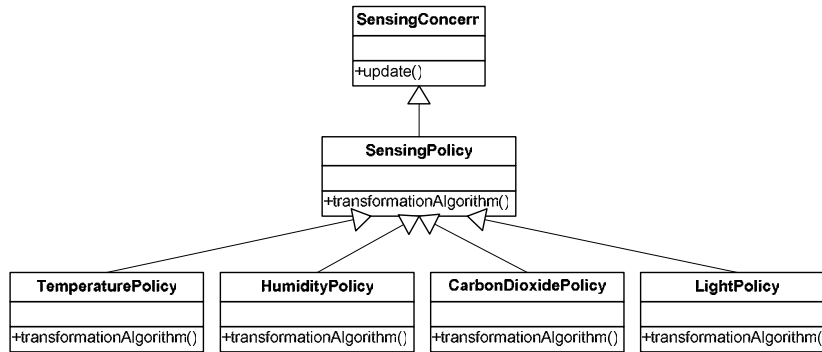


Fig. 4. Sensing Concern Layer

4.3 Context Layer

Esta capa realiza la decisión sobre cuál es la variable de contexto sobre la que se invocará la petición de los servicios, dejando la decisión de cuáles servicios llamar a la capa Service. Para poder llevar a cabo esta decisión se implementaron los patrones State y Template Method de manera combinada, además de los patrones que el modelo MASCO implementa para la clase ContextAggregator: Observer para recibir la notificación cuando sean transformados los valores monitoreados de las variables de contexto desde la capa Sensing Concern, y Mediator para combinar los valores de las variables de contexto debido a su dependencia.

En esta capa se verifica individualmente si los valores de cada una de las variables de contexto se encuentran en sus valores de referencia, mediante el patrón Mediator se combinan las variables y se verifica el contexto completo a través del patrón Template Method que se implementa en la clase ContextShapeDefinition, esto es así porque es posible que las variables de contexto que se encuentren con valores anómalos puedan presentar un contexto completo anómalo correspondiente al caso más crítico, también un contexto único corresponde a una sola variable de contexto con valores anómalos, mientras que el contexto opuesto se da cuando las variables Temperatura y Humedad Relativa, las que son inversamente proporcionales, poseen valores anómalos y su corrección implica que debe encontrarse un equilibrio entre dos valores opuestos, de acuerdo a lo planteado en el apartado 3.1. Para poder determinar si una variable de contexto posee un valor anómalo se utilizó el patrón State, cambiando su estado luego de la comprobación independiente, y sólo en caso de valores anómalos se notifica a la clase ContextAggregator para que defina la forma del contexto y llame los servicios de acuerdo al caso del contexto anómalo actual. Si no se presenta ningún valor anómalo no se llaman servicios y se aguarda al siguiente tiempo de monitoreo para verificar el estado del sistema. Los patrones State y Template Method añadidos se encuentran sombreados en la Fig. 5.

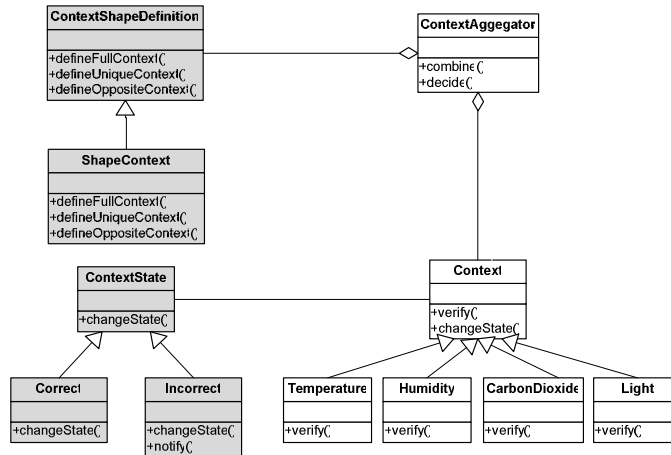


Fig. 5. Context Layer

4.4 Service Layer

En esta capa se produce el proceso de decisión sobre qué servicios deben solicitarse en base a la decisión tomada en la capa Context. Esto es en base a la variable de contexto con mayor prioridad que posee valores anómalos, ya que la relación de dependencia garantiza que alterar una variable de contexto altera las demás de acuerdo a la relación planteada en el apartado 3.1. Se implementó el patrón Strategy, marcado en gris en la Fig. 6 para realizar el llamado específico de los servicios de aumentar o disminuir los valores de esa variable de contexto. Para esto la clase ServiceCoordinator realiza la decisión en base al estado de los Actuadores, como se describió en el apartado 4.1.

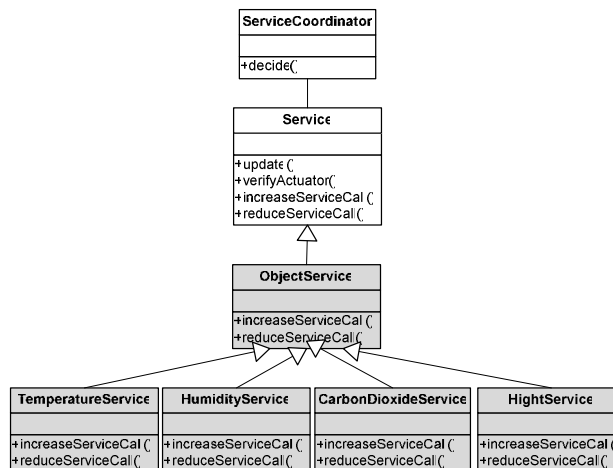


Fig. 6. Service Layer

Una vez llamados los servicios se cambia el estado de los Actuadores en la capa HardwareAbstraction y se aguarda al siguiente período de monitoreo donde se valida la acción realizada. De ocurrir un estado crítico de contexto completo no corregido en tres iteraciones se pasa al control manual, porque hay riesgo de pérdida de cultivo por condición extrema que no puede corregirse de forma automatizada.

5 Conclusiones

La aplicación de patrones al modelo brindó soluciones a dos grandes problemas que se presentaron al implementar el caso de estudio: la interacción entre variables con dependencia y la decisión sobre cuales servicios solicitar para corregir valores anómalos. Su uso garantizó la integridad estructural del modelo, permitiendo adaptar las capas incorporando las clases necesarias, mostrando MASCO flexibilidad al aplicarlo al caso de estudio

El rendimiento, que podría haber sido un inconveniente al presentarse la solicitud de servicios que van encadenados a una capa inferior desde la aplicación, fue solucionado brindando comunicación directa entre capas, como es el caso de los servicios solicitados desde la Context Layer a Service Layer, manteniendo las características propias de un modelo en capas.

6...Referencias

1. Gordillo, S., Rossi, G., Fortier, A.: Engineering Pervasive Services for Legacy Software. Proceedings of the 1st International Workshop on Software Engineering for Pervasive Services, Lyon (2006)
2. Dey, A. K.: Providing architectural support for building context aware applications. PHD Thesis. Georgia Institute Technology, USA (2001)
3. García, M.: Automatización de Procesos Industriales. Universidad Politécnica de Valencia, España (1999)
4. Quincoces, V.E., Gálvez, M.P., Cáceres, N.R., Vega, A.A., Ramos, H. O.: Extensión de un modelo en capas que provee servicios para aplicaciones sensibles al contexto. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, ISBN 978-987-633-041-1.2009, Vol I, pp. 35--40, Cap. IV. EUNSa, Salta (2009)
5. Quincoces, V.E., Gálvez, M.P., Cáceres, N.R., Vega, A. A.: Modelo que provee servicios para aplicaciones sensibles al contexto: Validación en etapas tempranas. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, pp. 481-486, EdiUNJu, Argentina (2010)
6. Gálvez, M.P., Quincoces, V.E., Cáceres, N.R., Vega, A.A.: Refinamiento de un Modelo en Capas que Provee Servicios de Ubicación para Aplicaciones Sensibles al Contexto. III Congreso Internacional de Telecomunicaciones, Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Quito (2010)
7. Gálvez, M.P., Brouchy,C., González, O., Cáceres, N.R., Quincoces, V. E.: Modelo que provee servicios para aplicaciones sensibles al contexto (MASCO): Interacción entre entidades. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, pp. 1103-1109. Científica Universitaria, UNCa, Argentina (2011)