

W poszukiwaniu formalnego modelu obiektów przestrzennych dla ich zautomatyzowanego projektowania i oceniania

© Andrzej Łachwa, UJ, 2019

andrzej.lachwa@uj.edu.pl

Zautomatyzowane projektowanie obiektów przestrzennych jest od wielu lat przedmiotem badań zespołu pracowników Zakładu Projektowania i Grafiki Komputerowej na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego.



<http://zpgk.fais.uj.edu.pl>

prof.dr hab. Ewa Grabska

dr hab. Barbara Strug

dr hab. Grażyna Ślusarczyk

dr hab. Anna Paszyńska

dr Andrzej Łachwa

dr Wojciech Palacz

mgr Agnieszka Mars

mgr Julia Szota-Pachowicz

*Prace naszego zespołu koncentrują się na wykorzystaniu wiedzy projektowej. Do reprezentowania i przetwarzania tej wiedzy stosujemy **struktury grafowe** i ich transformacje. Takie struktury pozwalają uwzględniać właściwości elementów składowych projektowanych obiektów na różnych poziomach złożoności, ich wzajemne relacje i sposoby łączenia elementów w większe całości.*

Przy zautomatyzowanym generowaniu projektów obiektów przestrzennych typową sytuacją jest zastąpienie części obiektu stanowiącej element należący do pewnego poziomu struktury innym elementem. Możliwość takiego zastąpienia ograniczona jest zwykle rozmaitymi warunkami. Ponadto podział obiektu na części o różnym stopniu złożoności i różnych warunkach zastępowania innymi elementami może być rozpatrywany w różnych aspektach, np. geometrycznym, funkcjonalnym czy estetycznym.

Obiekty przestrzenne, którymi się zajmowaliśmy, to m.in. rozkłady pomieszczeń w budynkach, bryły budynków, ogrody, meble, słupy wysokiego napięcia, a obiekty płaskie, to m.in. rozkłady pomieszczeń i graficzne wzory użytkowe.

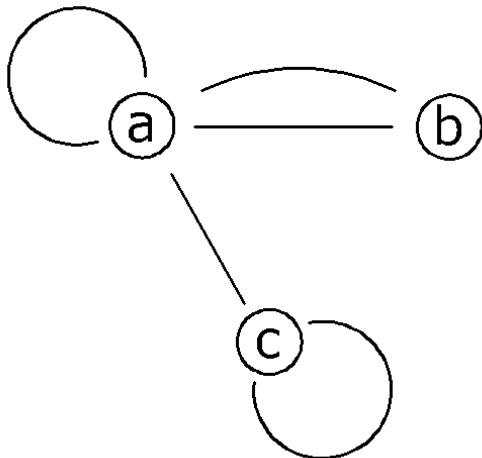
Każdy obiekt rozważany jest jako całość o strukturze wielopoziomowej i złożonej z części. Prostym modelem obiektu może więc być **zbiór mereologiczny**. Jednak taki model nie pozwala na łatwe wprowadzanie relacji między częściami oraz wprowadzanie atrybutów części.

Pierwszym modelem formalnym stosowanym w naszym zespole do zautomatyzowanego projektowania był **graf kompozycyjny** (CP-graf). W pracach związanych z rozkładami pomieszczeń wprowadziliśmy **hipergrafa rozkładu** (ang. layout hypergraphs).

Proponowane przez nas obecnie modele formalne to atrybutowane **hierarchiczne hipergrafa** i **grafa multi-hierarchiczne**, oraz ich transformacje.

Graf (graf ogólny) to para $G=(V, E)$, gdzie

- V to niepusty i skończony **zbiór dystrybutywny**, którego elementy nazywamy wierzchołkami lub węzłami,
- E to skończony **zbiór z powtórzeniami** jedno i dwuelementowych podzbiorów V , zwanych krawędziami.



Jednoelementowe podzbiory zbioru V nazywamy pętlami, a podzbiory powtarzające się nazywamy krawędziami wielokrotnymi.

Łachwa A.: Który zbiór wybrać?, [w:] red. M. Pękała, W. Chmielowski, Informatyka, Krakowskie Towarzystwo Edukacyjne – Oficyna Wydawnicza AFM, Kraków 2006, z.1, s. 35-49.

Graf kompozycyjny, CP-graf (ang. *composite graph*) składa się z wierzchołków, krawędzi i wiązań. Wierzchołki i krawędzie mogą mieć etykiety (niekoniecznie unikatowe). Wierzchołki mogą posiadać wiązania (ang. **bond**) z identyfikatorami. Z jednym wiązaniem skojarzona jest co najwyżej jedna krawędź. Wiązania mogą być wolne.

Gramatyka CP-grafowa składa się z grafu początkowego i zbioru produkcji. Produkcja LR jest regułą pozwalającą na zastąpienie podgrafu L podgrafem R, przy czym obie strony muszą posiadać taką samą liczbę wiązań wolnych.

Grabska, E. (1993). *Theoretical concepts of graphical modeling. Part one: Realization of CP-graphs. Machine Graphics and Vision* 1993 (2), 3-38. Part two: *Cp-graph grammars and languages. Machine Graphics and Vision* 1993 (2): 149-178

Niech Σ będzie alfabetem etykiet węzłów, bondów i krawędzi.

Niech A będzie zbiorem atrybutów węzłów i krawędzi.

Niech D_a oznacza dziedzinę atrybutu $a \in A$ (zbiór możliwych wartości) oraz D będzie sumą tych dziedzin.

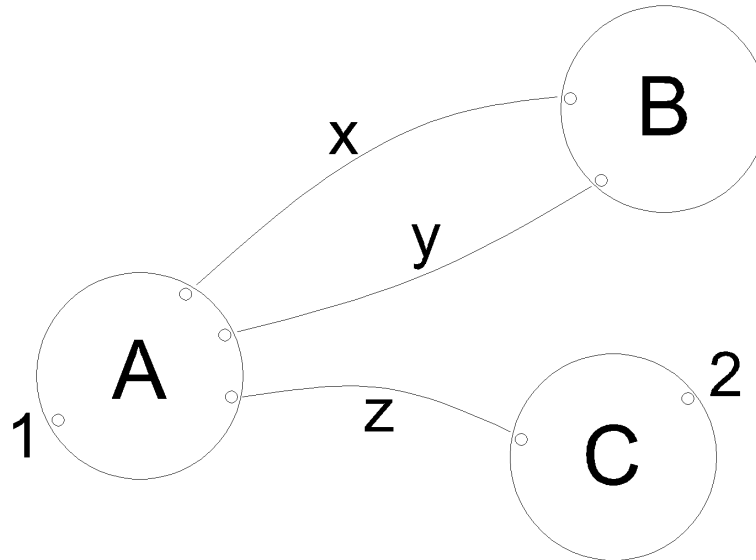
Kompozycyjny atrybutowany graf nad Σ to system

$g = (V, E, B, bd, s, t, lb, att, val)$ gdzie

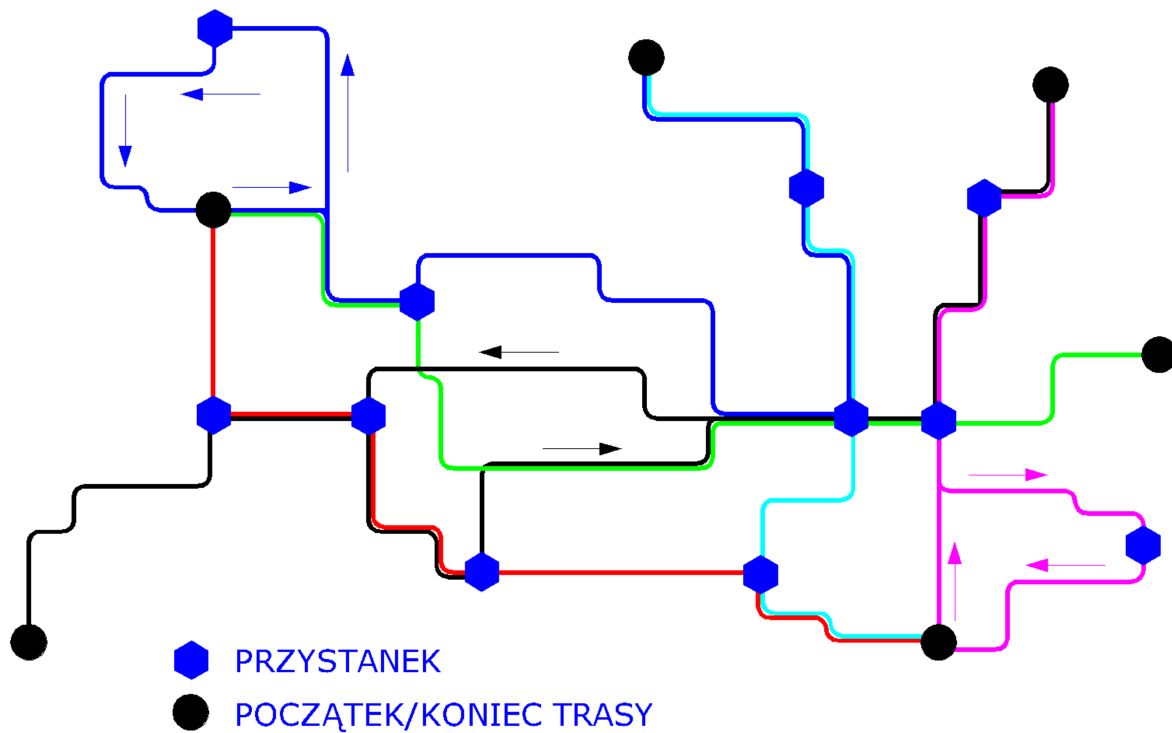
- **V, E, B są zbiorami parami rozłącznymi (ich elementy nazywamy węzłami, krawędziami i bondami),**
- **$bd: V \rightarrow B^*$ jest funkcją częściową, która określa sekwencję bondów węzła taką, że każdy bond jest przypisany do dokładnie jednego węzła,**
- **$s, t: E \rightarrow B$ są funkcjami przypisującymi krawędziom ich węzły początkowe i końcowe w ten sposób, że każda krawędź łączy bondy dwóch różnych węzłów oraz że dla każdego bonda istnieje co najwyżej jedna krawędź która rozpoczyna się lub kończy w tym bondzie,**

- ***lb***: $V \cup B \cup E \rightarrow S$ jest funkcją etykietowania,
- ***att***: $V \cup E \rightarrow 2^A$ jest funkcją atrybutowania,
- ***val***: $(V \cup E) \times A \rightarrow D$ jest funkcją częściową przypisującą wartości atrybutom.

Przykład:

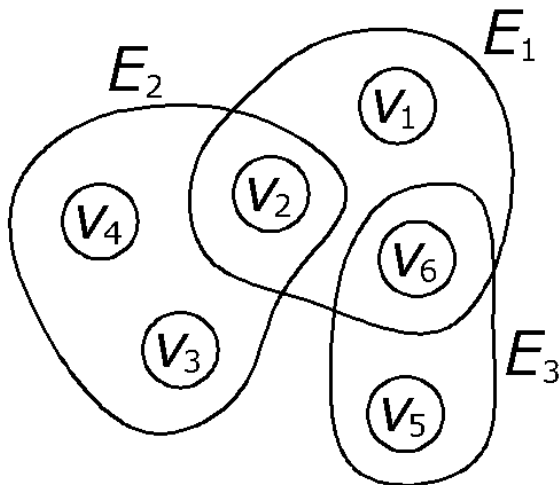


Przykład łączenia krawędzi w grupy



Hipergraf to para $H = (V, E)$, gdzie

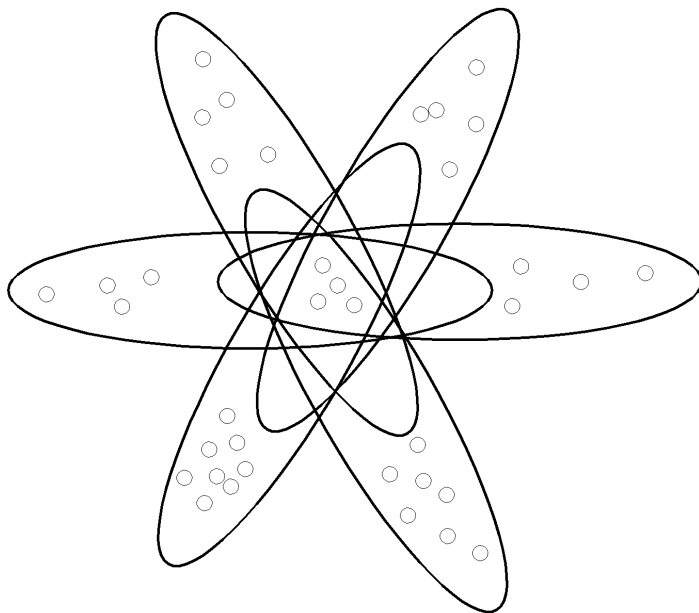
- V jest dowolnym, niepustym, skończonym zbiorem wierzchołków
- E jest rodziną (z powtórzeniami) niepustych podzbiorów (z powtórzeniami) zbioru V .



Elementy E nazywamy hiperkrawędziami. Hiperkrawędź może być wielokrotna.

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$$

$$E = \{E_1, E_2, E_3\}$$

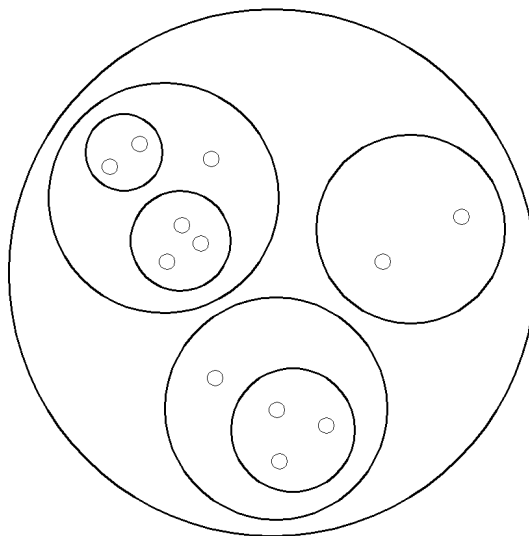
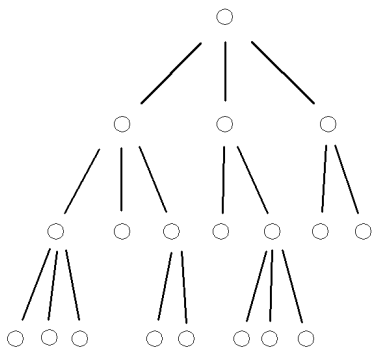


***Przykład hipergrafu
prostego: słonecznik***

Claude Berge: Graphs and Hypergraphs. North-Holland 1973

Claude Berge: Hypergraphs. North-Holland 1989.

Przykład hierarchii: drzewo



MODEL PIERWSZY

Niech Σ będzie alfabetem etykiet, zaś Ω zbiorem atrybutów.

Atrybutowany hipergraf hierarchiczny nad Σ i Ω to system

$G = (E, V, A, t, lb, att, ch)$ gdzie

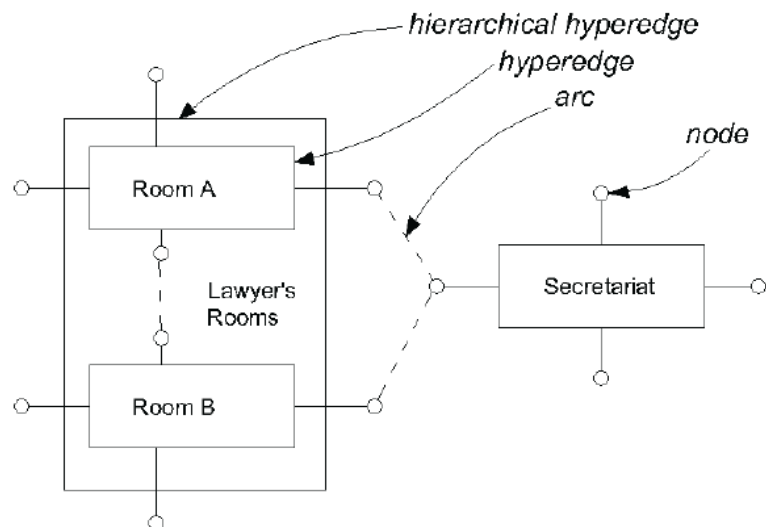
- E jest niepustym skończonym zbiorem hiperkrawędzi (reprezentują komponenty projektu, np. pomieszczenia),
- V jest niepustym skończonym zbiorem węzłów (reprezentują fragmenty komponentów, np. ściany),
- A jest skończonym zbiorem łuków (reprezentują relacje między fragmentami komponentów),
- $t: E \cup A \rightarrow V^*$ jest funkcją przypisującą hiperkrawędziom i łukom sekwencje różnych węzłów,

- ***lb: $E \cup V \cup A \rightarrow \Sigma$ jest funkcją przypisującą elementom grafu ich etykiety,***
- ***att: $E \cup V \rightarrow 2^\Omega$ jest funkcją atrybutującą,***
- ***ch: $E \rightarrow 2^{E \cup V \cup A}$ są funkcją zagnieżdżania taką, że żaden element hipergrafu nie może być zagnieżdżony w dwóch różnych hiperkrawędziach, hiperkrawędź nie może być swoim własnym potomkiem oraz węzły danej hiperkrawędzi $e \in E$ muszą być zagnieżdżone w tej samej hiperkrawędzi co e .***

Grabska E., Łachwa A., Ślusarczyk G.: New visual languages supporting design of multi-storey buildings, **Advanced Engineering Informatics**, vol. 26 (2012), no. 4, 681-690

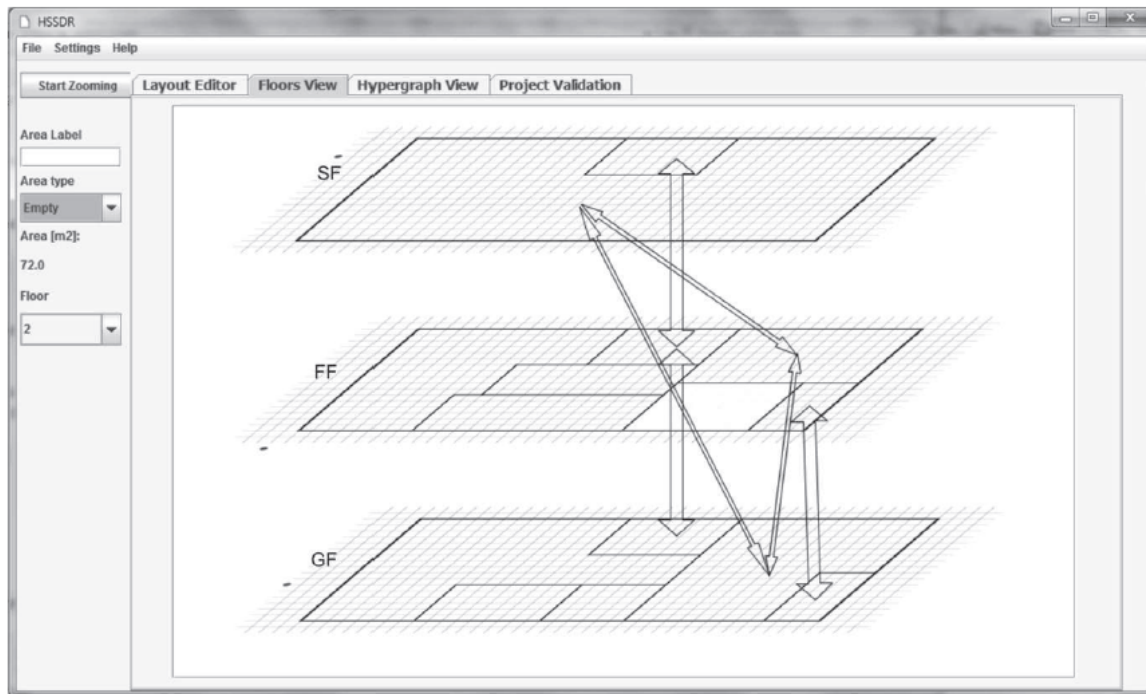
Łachwa A., Grabska E., Ślusarczyk G.: Fuzzy Interpretation of Layout Hypergraphs, **Schedae Informaticae**, vol. 15 (2006), 165-173

Przykład:



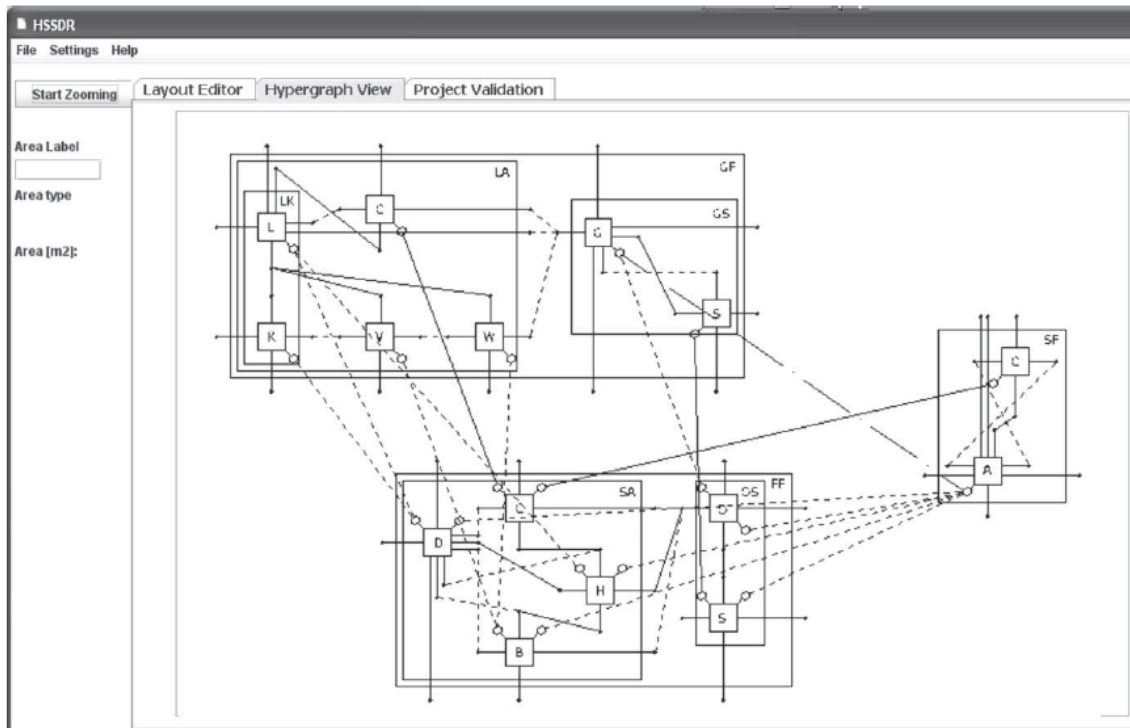
Łachwa A.: An outline of a method of evaluating the design solutions, *Machine Dynamics Research*, Vol. 39, No 1, 2015, pp. 37 – 45.

Przykład rozkładu pomieszczeń w 3-poziomowym budynku:



***Grabska E., Łachwa A., Ślusarczyk G.: New visual languages ...
Aplikacja HSSDR (zob. Grabska E. et al.: Hypergraph System
Supporting Design and Reasoning. EG-ICE International Workshop.
Berlin 2009)***

... i reprezentującego ten obiekt **hipergrafu rozkładu**:



*Grabska E., Łachwa A., Ślusarczyk G.: New visual languages ...
Aplikacja HSSDR*

MODEL DRUGI: rezygnujemy z hiperkrawędzi!

Niech Σ_V i Σ_E będą dwoma rozłącznymi alfabetami.

Grafem etykietowanym nad Σ_V i Σ_E nazywamy system

$G=(V,E,s,t,vlb,elb)$ gdzie

- V, E to rozłączne skończone zbiory z których V jest niepusty (elementy V nazywamy węzłami, elementy E krawędziami),
- $s: E \rightarrow V$ oraz $t: E \rightarrow V$ są funkcjami przypisującymi krawędziom ich początkowe i końcowe wierzchołki
- $vlb: V \rightarrow \Sigma_V$ oraz $elb: E \rightarrow \Sigma_E$ są funkcjami etykietującymi węzły i krawędzie.

Zbiory węzłów V i krawędzi E grafu G tworzą łącznie zbiór **atomów**, oznaczany dalej przez U .

Graf nazwiemy **atrybutowanym** gdy do systemu G dodamy funkcję przypisującą atomom atrybuty ze zbioru A :

$$atr: U \rightarrow 2^A.$$

*Graf nazwiemy **hierarchicznym** gdy pozwolimy, aby w wierzchołkach grafu mogły być zagnieżdżone zbiory atomów (grafy położone na niższym stopniu hierarchii). W tym celu wprowadzamy funkcję częściową zagnieżdżenia:*

$$ch: V \rightarrow 2^U \cup \{\emptyset\}$$

gdzie $\emptyset$ to wyróżniony symbol potrzebny dla węzłów, które są „całkowicie poza hierarchią”.

***Atrybutowany etykietowany multi-graf hierarchiczny** to rozszerzenie systemu G o funkcję atrybutowania i kilka funkcji zagnieżdżenia (kilka hierarchii).*

*Ślusarczyk G., Łachwa A., Palacz W., Strug B., Paszyńska A., Grabska E.: An extended hierarchical graph-based building model for design and engineering problems, **Automation in Construction**, vol. 74 (2017), pp. 95-102*

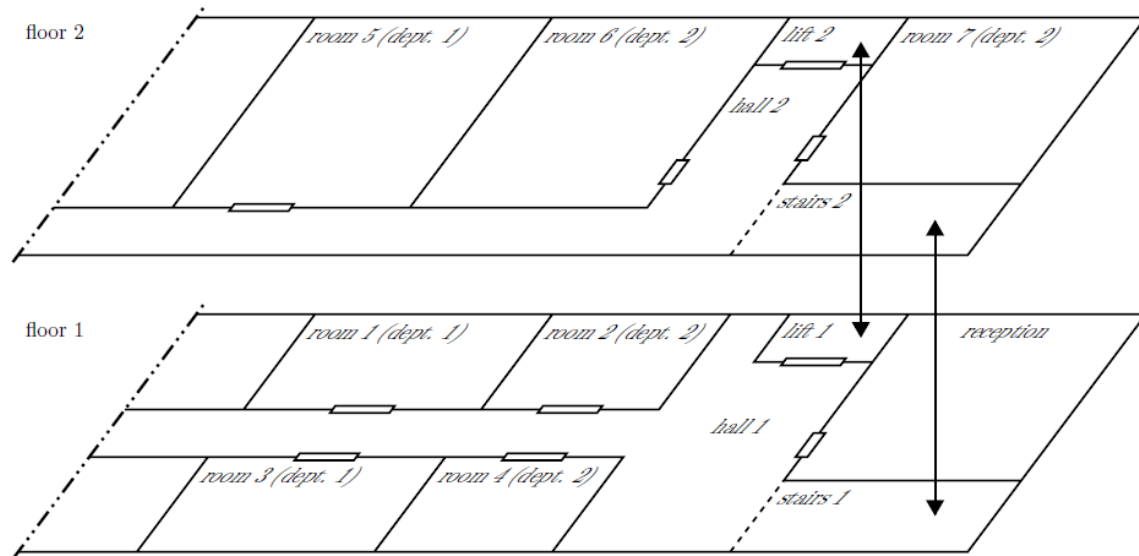


Figure 4: A partial floor layout of an office building.

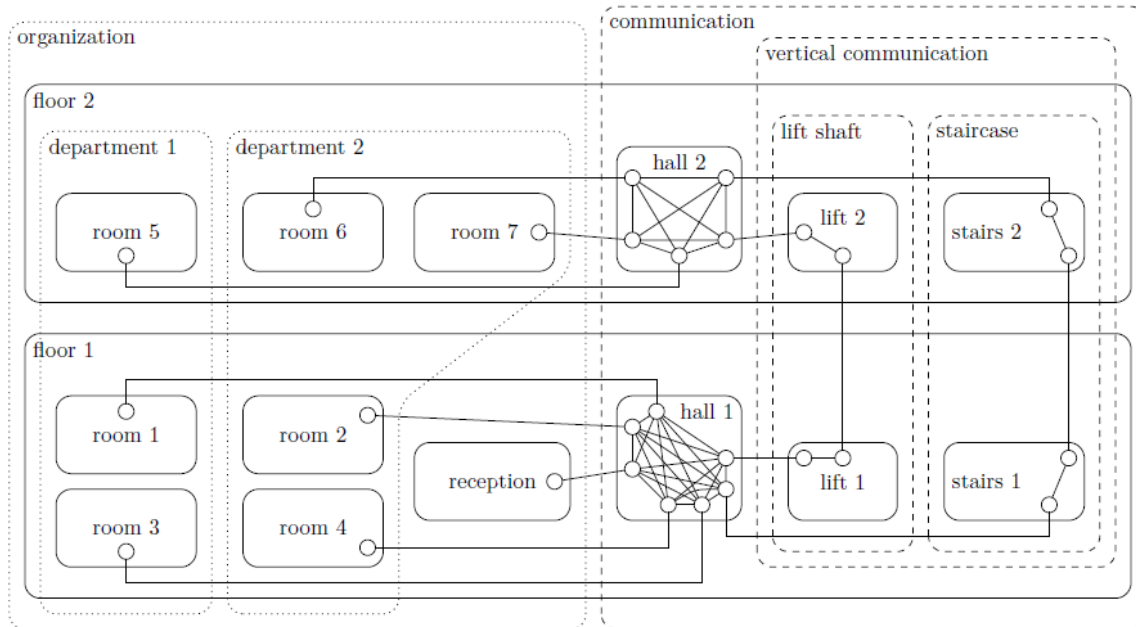


Figure 5: A 3-hierarchical graph representing the layout from Fig. 4.

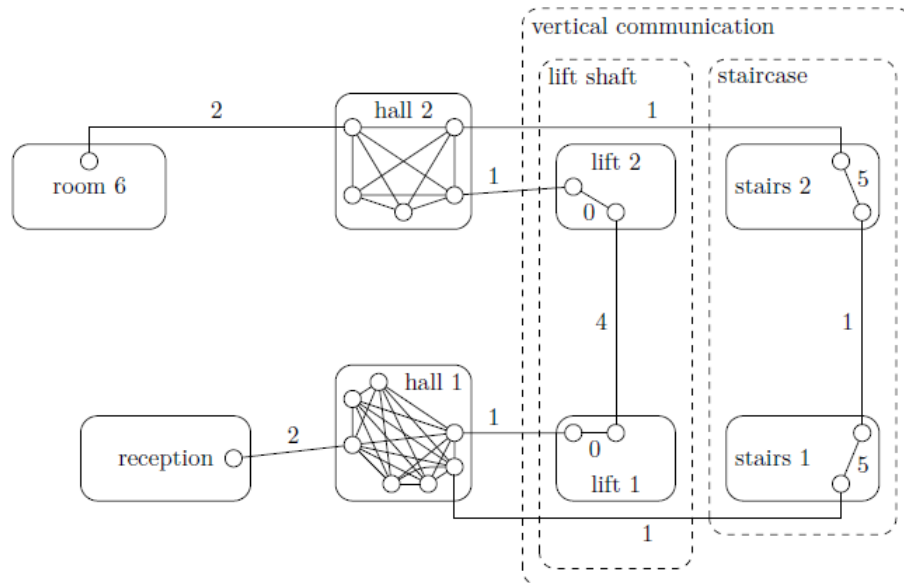
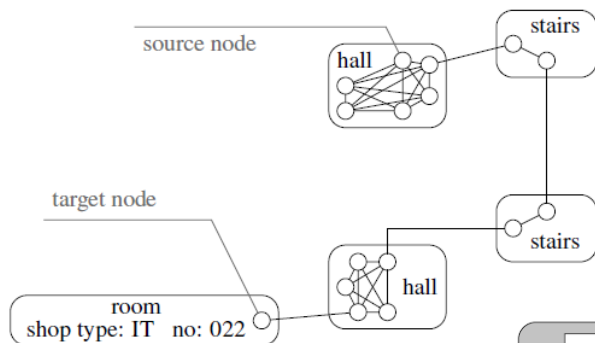
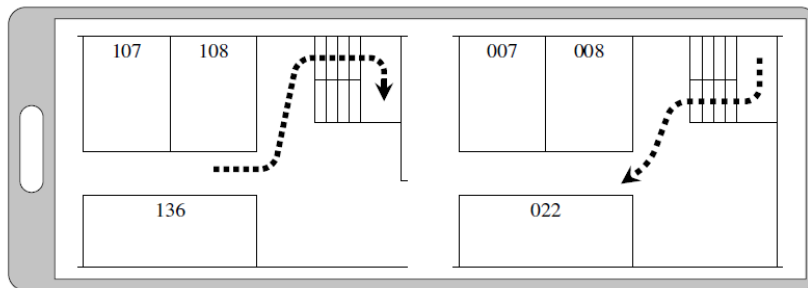


Figure 6: A subgraph of the M-graph from Fig. 5, induced by nodes representing the starting point, the communication areas and the destination point.



Podgráf używany przez algorytm nawigacji i widok drogi na ekranie smartfona z aplikacją.



Palacz W., Ślusarczyk G., Łachwa A., Strug B., Paszyńska A., Grabska E.: Knowledge-based building navigation tools with the use of a hierarchical graph model, [in:] Proceedings of the 23rd International Workshop on Intelligent Computing in Engineering EG-ICE 2016, 29 June – 1 July Kraków, Poland, 2016, pp. 301-311.



fais.uj.edu.pl