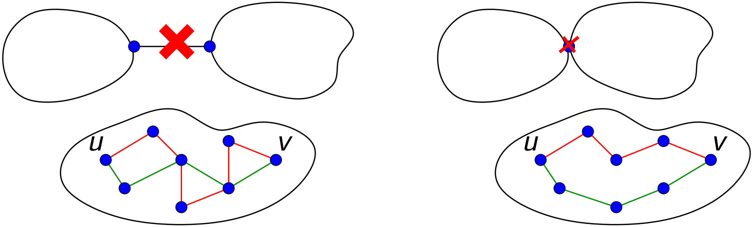
Kombinatorikus optimalizálás

2-(él)öf és erősen összefüggő gráfok

2023. május 2.

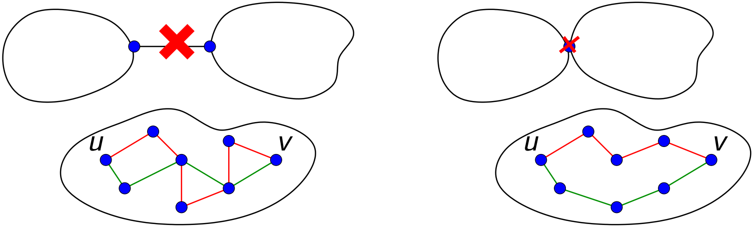
Bevezetés

Def: Egy G gráf akkor **2-élösszefüggő**, ha nincs elvágó éle, azaz ha G bármely két csúcsa között vezet két éldiszjunkt út. A G egyszerű gráf akkor **2-összefüggő**, ha legalább 3 csúcsa van, és nincs elvágó pontja, avagy G bármely két csúcsa között vezet két belsőleg pontdiszjunkt út. Az irányított G gráf akkor **gyengén összefüggő**, ha G irányítatlan értelemben összefüggő, és akkor **erősen összefüggő**, ha G bármely u, v csúcsaira van G-ben irányított uv-út (és a v, u választás miatt irányított vu-út is).



Bevezetés

Def: Egy G gráf akkor 2-**élösszefüggő**, ha nincs elvágó éle, azaz ha G bármely két csúcsa között vezet két éldiszjunkt út. A G egyszerű gráf akkor 2-**összefüggő**, ha legalább 3 csúcsa van, és nincs elvágó pontja, avagy G bármely két csúcsa között vezet két belsőleg pontdiszjunkt út. Az irányított G gráf akkor **gyengén összefüggő**, ha G irányítatlan értelemben összefüggő, és akkor **erősen összefüggő**, ha G bármely u, v csúcsaira van G-ben irányított uv-út (és a v, u választás miatt irányított vu-út is).



A továbbiakban 2-(él)összefüggő és erősen összefüggő gráfok tulajdonságaival, struktúrájával foglalkozunk.

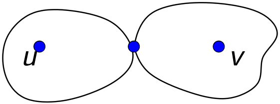
2-öf gráfok egy jellemzése

Menger tétele: A G gráf pontosan akkor 2-összefüggő, ha G bármely két u, v csúcsához létezik olyan C kör, ami az u, v csúcsokat tartalmazza.

2-öf gráfok egy jellemzése

Menger tétele: A G gráf pontosan akkor 2-összefüggő, ha G bármely két u, v csúcsához létezik olyan C kör, ami az u, v csúcsokat tartalmazza.

Biz: Ha G nem 2-összefüggő, akkor van elvágó pontja. Legyen u és v két csúcs G két különböző maxblokkjából.

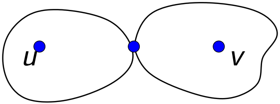


Ekkor G-nek nincs olyan köre, ami u és v mindegyikét tartalmazza.

2-öf gráfok egy jellemzése

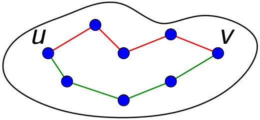
Menger tétele: A G gráf pontosan akkor 2-összefüggő, ha G bármely két u, v csúcsához létezik olyan C kör, ami az u, v csúcsokat tartalmazza.

Biz: Ha G nem 2-összefüggő, akkor van elvágó pontja. Legyen u és v két csúcs G két különböző maxblokkjából.



Ekkor G-nek nincs olyan köre, ami u és v mindegyikét tartalmazza.

Ha viszont G 2-összefüggő és $u, v \in V(G)$, akkor Menger tétele szerint van G-ben két belsőleg pontdiszjunkt uv-út. Ezek együtt egy u-t és v-t tartalmazó kört adnak.



$\square$

2-öf gráfok egy jellemzése

Menger tétele: A G gráf pontosan akkor 2-összefüggő, ha G bármely két u, v csúcsához létezik olyan C kör, ami az u, v csúcsokat tartalmazza.

2-öf gráfok egy jellemzése

Menger tétele: A G gráf pontosan akkor 2-összefüggő, ha G bármely két u, v csúcsához létezik olyan C kör, ami az u, v csúcsokat tartalmazza.

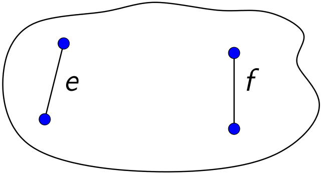
Menger tétele: Tfh G-nek nincs izolált pontja. Ekkor G pontosan akkor 2-összefüggő, ha G bármely két e, f élére létezik olyan C kör, ami az e, f éleket tartalmazza.

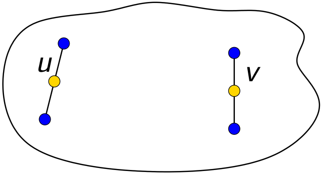
2-öf gráfok egy jellemzése

Menger tétele: A G gráf pontosan akkor 2-összefüggő, ha G bármely két u, v csúcsához létezik olyan C kör, ami az u, v csúcsokat tartalmazza.

Menger tétele: Tfh G-nek nincs izolált pontja. Ekkor G pontosan akkor 2-összefüggő, ha G bármely két e, f élére létezik olyan C kör, ami az e, f éleket tartalmazza.

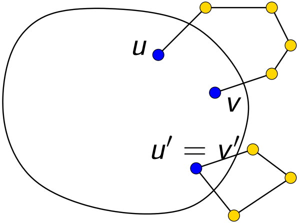
Biz: Ha bmely 2 élhez van kör, akkor bmely 2 csúcshoz is, így az előző tétel miatt G 2-öf. Ha G 2-öf, és e, f élek akkor e-t egy u, f-et egy v csúccsal felosztva nem keletkezik elvágó pont. Így a gráf 2-öf marad, tehát van u-n és v-n keresztül kör, ami G-ben épp egy e-t és f-et tartalmazó kör. □





2-élöf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-élösszefüggő, ha G előállítható egy pontból kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ is megengedett.



2-élöf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-élösszefüggő, ha G előállítható egy pontból kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ is megengedett.

2-élöf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-élösszefüggő, ha G előállítható egy pontból kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ is megengedett.

Biz: Tfh G-nek van fülfelbontása. Mivel a kiindulási egypontú gráf 2-élöf, és egyetlen fül hozzáadásakor sem keletkezik elvágó él, ezért a felépített G 2-élöf lesz.

2-élöf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-élösszefüggő, ha G előállítható egy pontból kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ is megengedett.

Biz:

2-élöf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-élösszefüggő, ha G előállítható egy pontból kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ is megengedett.

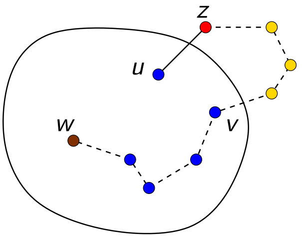
Biz: Tfh G 2-élöf. Induljunk ki G tetsz. w csúcsából és építsük G-t fülek hozzávételével amíg tudjuk.

2-élöf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-élösszefüggő, ha G előállítható egy pontból kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ is megengedett.

Biz: Tfh G 2-élöf. Induljunk ki G tetsz. w csúcsából és építsük G-t fülek hozzávételével amíg tudjuk.

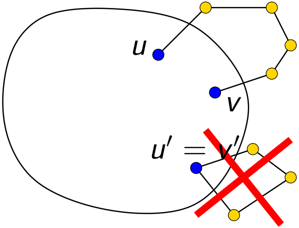
Ha van felépítetlen csúcs, akkor van felépített u csúcsból felépítetlen z csúcsba vezető él. Tekintsünk $(G - u)$ egy zw-útját. Legyen v ennek az első olyan csúcsa, amit már felépítettünk. Ekkor a már felépített gráfhoz hozzáadható egy új, z-t tartalmazó uv-fül.



Ha már G minden csúcsát felépítettül, akkor a hiányzó élek egy-egy fülként hozzáadhatók. Tehát tetsz. 2-élöf G gráfnak van fülfelbontása. □

2-öf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-összefüggő, ha G előállítható egy **körből** kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ **nem** megengedett.



2-öf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-összefüggő, ha G előállítható egy **körből** kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ **nem** megengedett.

2-öf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-összefüggő, ha G előállítható egy **körből** kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ **nem** megengedett.

Biz: Tfh G-nek van fülfelbontása. Mivel a kiindulási kör gráf 2-öf, és egyetlen fül hozzáadásakor sem keletkezik elvágó pont, ezért a felépített G 2-öf lesz.

2-öf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-összefüggő, ha G előállítható egy **körből** kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ **nem** megengedett.

Biz:

2-öf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-összefüggő, ha G előállítható egy **körből** kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ **nem** megengedett.

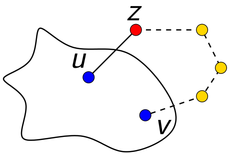
Biz: Tfh G 2-öf. Induljunk ki G tetsz. C köréből és építsük G-t fülek hozzávételével amíg tudjuk.

2-öf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-összefüggő, ha G előállítható egy **körből** kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ **nem** megengedett.

Biz: Tfh G 2-öf. Induljunk ki G tetsz. C köréből és építsük G-t fülek hozzávételével amíg tudjuk.

Ha van olyan csúcs, amit eddig nem sikerült megkapni, legyen uz egy már felépített u csúcsból egy felépítetlen z-be vezető G-beli él. Mivel G-nek u nem elvágó pontja, ezért $G - u$-ban vezet z-ből út a már felépített részbe.



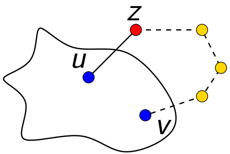
Legyen v az út első már megépült pontja. Ekkor az út zv-része a zu éllel egy uv-fülként hozzáadható az eddig felépített gráfhoz.

2-öf gráfok fülfelbontása

Tétel: Tetsz. G gráf akkor és csak akkor 2-összefüggő, ha G előállítható egy **körből** kiindulva úgy, hogy minden lépésben egy fület ragasztunk az addig elkészült gráfhoz, azaz egy u és v pont közé olyan utat veszünk be, amelynek belső csúcsai újak. Itt $u = v$ **nem** megengedett.

Biz: Tfh G 2-öf. Induljunk ki G tetsz. C köréből és építsük G-t fülek hozzávételével amíg tudjuk.

Ha van olyan csúcs, amit eddig nem sikerült megkapni, legyen uz egy már felépített u csúcsból egy felépítetlen z-be vezető G-beli él. Mivel G-nek u nem elvágó pontja, ezért $G - u$-ban vezet z-ből út a már felépített részbe.



Legyen v az út első már megépült pontja. Ekkor az út zv-része a zu éllel egy uv-fülként hozzáadható az eddig felépített gráfhoz. Miután minden csúcsot felépítettünk, a hiányzó élek fülekként hozzáadhatók. Tehát tetsz. 2-öf G gráfnak van fülfelbontása. $\square$

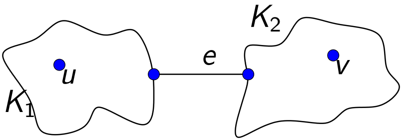
Erősen összefüggő gráfok jellemzése

Robbins tétele: Tetszőleges G irányítatlan gráf éleit pontosan akkor lehet erősen összefüggővé irányítani, ha G 2-élösszefüggő.

Erősen összefüggő gráfok jellemzése

Robbins tétele: Tetszőleges G irányítatlan gráf éleit pontosan akkor lehet erősen összefüggővé irányítani, ha G 2-élösszefüggő.

Biz: Tfh G nem 2-élöf, azaz G az e él elhagyásától szétesik egy K_1 és egy K_2 komponensre. Legyen u és v rendre a K_1 ill. a K_2 egy-egy csúcsa. Ha e-t a K_1-ből a K_2-be irányítjuk, akkor nem lesz irányított vu-út, ha K_2-ből K_1-be, akkor nem lesz irányított uv-út. Ezért a 2-élösszefüggőség szükséges az eöf irányítás létezéséhez.



Erősen összefüggő gráfok jellemzése

Robbins tétele: Tetszőleges G irányítatlan gráf éleit pontosan akkor lehet erősen összefüggővé irányítani, ha G 2-élösszefüggő.

Biz: Tfh G nem 2-élöf, azaz G az e él elhagyásától szétesik egy K_1 és egy K_2 komponensre. Legyen u és v rendre a K_1 ill. a K_2 egy-egy csúcsa. Ha e-t a K_1-ből a K_2-be irányítjuk, akkor nem lesz irányított vu-út, ha K_2-ből K_1-be, akkor nem lesz irányított uv-út. Ezért a 2-élösszefüggőség szükséges az eöf irányítás létezéséhez.

Erősen összefüggő gráfok jellemzése

Robbins tétele: Tetszőleges G irányítatlan gráf éleit pontosan akkor lehet erősen összefüggővé irányítani, ha G 2-élösszefüggő.

Biz: Tfh G nem 2-élöf, azaz G az e él elhagyásától szétesik egy K_1 és egy K_2 komponensre. Legyen u és v rendre a K_1 ill. a K_2 egy-egy csúcsa. Ha e-t a K_1-ből a K_2-be irányítjuk, akkor nem lesz irányított vu-út, ha K_2-ből K_1-be, akkor nem lesz irányított uv-út. Ezért a 2-élösszefüggőség szükséges az eöf irányítás létezéséhez.

Elégségesség. Ha G 2-élöf, akkor az előző tétel szerint G-nek van fülfelbontása. Ennek segítségével úgy kaphatjuk meg G eöf irányítását, hogy minden hozzáadott fül éleit a fül mentén egy irányba irányítjuk. Könnyű látni, hogy a felépítés bármely köztes állapotában a kapott gráf eöf lesz: ha ugyanis u az újonnan bevett fül, v pedig a korábban felépített gráf egy-egy csúcsa, akkor van a fül bevétele utáni gráfban irányított uv- és vu-út is.
Ezért a fülek megirányításával felépített gráf csakugyan az eredeti G gráf egy eöf irányítása. $\square$

Mit tanultunk ma?

Mit tanultunk ma?

- Menger 2-(él)összefüggő gráfokról szóló jellemzése utakkal és körökkel

Mit tanultunk ma?

- Menger 2-(él)összefüggő gráfokról szóló jellemzése utakkal és körökkel
- 2-(él)összefüggő gráfok fülfelbontása

Mit tanultunk ma?

- Menger 2-(él)összefüggő gráfokról szóló jellemzése utakkal és körökkel
- 2-(él)összefüggő gráfok fülfelbontása
- Robbins tétele irányítatlan gráf erősen összefüggővé irányításáról

Mit tanultunk ma?

- Menger 2-(él)összefüggő gráfokról szóló jellemzése utakkal és körökkel
- 2-(él)összefüggő gráfok fülfelbontása
- Robbins tétele irányítatlan gráf erősen összefüggővé irányításáról

Hírek, események

Mit tanultunk ma?

- Menger 2-(él)összefüggő gráfokról szóló jellemzése utakkal és körökkel
- 2-(él)összefüggő gráfok fülfelbontása
- Robbins tétele irányítatlan gráf erősen összefüggővé irányításáról

Hírek, események

- **pZH**: Május 3 (holnap) 18:00, IB025 (pontos kezdés)

Mit tanultunk ma?

- Menger 2-(él)összefüggő gráfokról szóló jellemzése utakkal és körökkel
- 2-(él)összefüggő gráfok fülfelbontása
- Robbins tétele irányítatlan gráf erősen összefüggővé irányításáról

Hírek, események

- **pZH**: Május 3 (holnap) 18:00, IB025 (pontos kezdés)
- **KDDMV**: Május 9, 14:30 (`www.cs.bme.hu/konig`)

Mit tanultunk ma?

- Menger 2-(él)összefüggő gráfokról szóló jellemzése utakkal és körökkel
- 2-(él)összefüggő gráfok fülfelbontása
- Robbins tétele irányítatlan gráf erősen összefüggővé irányításáról

Hírek, események

- **pZH**: Május 3 (holnap) 18:00, IB025 (pontos kezdés)
- **KDDMV**: Május 9, 14:30 (`www.cs.bme.hu/konig`)

Hurrá!