Inngangur að netafræði

Bergur Snorrason

19. febrúar 2021

Net

- Tvennd (V, E), þar sem V er endanlegt mengi og $E \subset V \times V$, kallast *net*.

Net

- Tvennd (V, E), þar sem V er endanlegt mengi og $E \subset V \times V$, kallast *net*.
- Stökin í V köllum við *nóður* og stökin í E köllum við *leggi*.

Net

- Tvennd (V, E), þar sem V er endanlegt mengi og $E \subset V \times V$, kallast *net*.
- Stökin í V köllum við *nóður* og stökin í E köllum við *leggi*.
- Ef venslin E eru samhverf, það er að segja ef

$$(u, v) \in E \Rightarrow (v, u) \in E,$$

  þá segjum við að netið sé *óstefnt*.

Net

- Tvennd (V, E), þar sem V er endanlegt mengi og $E \subset V \times V$, kallast *net*.
- Stökin í V köllum við *nóður* og stökin í E köllum við *leggi*.
- Ef venslin E eru samhverf, það er að segja ef

  $$(u, v) \in E \Rightarrow (v, u) \in E,$$

  þá segjum við að netið sé *óstefnt*.
- Net sem er ekki óstefnt kallast *stefnt*.

Net

- Tvennd (V, E), þar sem V er endanlegt mengi og $E \subset V \times V$, kallast *net*.
- Stökin í V köllum við *nóður* og stökin í E köllum við *leggi*.
- Ef venslin E eru samhverf, það er að segja ef

$$(u, v) \in E \Rightarrow (v, u) \in E,$$

  þá segjum við að netið sé *óstefnt*.
- Net sem er ekki óstefnt kallast *stefnt*.
- Við segjum að nóðan v sé *nágranni* nóðunnar u ef (u, v) er í E.

Net

- Tvennd (V, E), þar sem V er endanlegt mengi og $E \subset V \times V$, kallast *net*.
- Stökin í V köllum við *nóður* og stökin í E köllum við *leggi*.
- Ef venslin E eru samhverf, það er að segja ef

  $$(u, v) \in E \Rightarrow (v, u) \in E,$$

  þá segjum við að netið sé *óstefnt*.
- Net sem er ekki óstefnt kallast *stefnt*.
- Við segjum að nóðan v sé *nágranni* nóðunnar u ef (u, v) er í E.
- Við segjum að nóður u og v í óstefndu neti séu *nágrannar* ef (u, v) er í E.

Net

- Tvennd (V, E), þar sem V er endanlegt mengi og $E \subset V \times V$, kallast *net*.
- Stökin í V köllum við *nóður* og stökin í E köllum við *leggi*.
- Ef venslin E eru samhverf, það er að segja ef

  $$(u, v) \in E \Rightarrow (v, u) \in E,$$

  þá segjum við að netið sé *óstefnt*.
- Net sem er ekki óstefnt kallast *stefnt*.
- Við segjum að nóðan v sé *nágranni* nóðunnar u ef (u, v) er í E.
- Við segjum að nóður u og v í óstefndu neti séu *nágrannar* ef (u, v) er í E.
- Við segjum einnig að það liggi leggur á milli u og v.

- Takið eftir að netið $G = (V, E)$ hefur $|V|$ fjöld nóða og $|V|$ fjölda leggja.

- Takið eftir að netið $G = (V, E)$ hefur $|V|$ fjöld nóða og $|V|$ fjölda leggja.
- Tímaflækjur reinkirita í netafræði eru því iðulega gefnar sem föll af $|V|$ og $|E|$ (hingað til höfum við aðalega notað n).

- Takið eftir að netið $G = (V, E)$ hefur $|V|$ fjöld nóða og $|V|$ fjölda leggja.
- Tímaflækjur reinkirita í netafræði eru því iðulega gefnar sem föll af $|V|$ og $|E|$ (hingað til höfum við aðalega notað n).
- Þegar ég forrita netafræði dæmi læt ég yfirleitt n tákna fjölda nóða og m tákna fjölda leggja.

- Takið eftir að netið $G = (V, E)$ hefur $|V|$ fjöld nóða og $|V|$ fjölda leggja.
- Tímaflækjur reinkirita í netafræði eru því iðulega gefnar sem föll af $|V|$ og $|E|$ (hingað til höfum við aðalega notað n).
- Þegar ég forrita netafræði dæmi læt ég yfirleitt n tákna fjölda nóða og m tákna fjölda leggja.
- Því kemur fyrir að ég lýsa tímaflækjum reikniritana með þessum breytum.

- Takið eftir að netið $G = (V, E)$ hefur $|V|$ fjöld nóða og $|V|$ fjölda leggja.
- Tímaflækjur reinkirita í netafræði eru því iðulega gefnar sem föll af $|V|$ og $|E|$ (hingað til höfum við aðalega notað n).
- Þegar ég forrita netafræði dæmi læt ég yfirleitt n tákna fjölda nóða og m tákna fjölda leggja.
- Því kemur fyrir að ég lýsa tímaflækjum reikniritana með þessum breytum.
- Ég mun einnig leyfa mér að nota V í stað $|V|$ og E í stað $|E|$, því þetta ætti aldrei valda ruglningi.

- Takið eftir að netið $G = (V, E)$ hefur $|V|$ fjöld nóða og $|V|$ fjölda leggja.
- Tímaflækjur reinkirita í netafræði eru því iðulega gefnar sem föll af $|V|$ og $|E|$ (hingað til höfum við aðalega notað n).
- Þegar ég forrita netafræði dæmi læt ég yfirleitt n tákna fjölda nóða og m tákna fjölda leggja.
- Því kemur fyrir að ég lýsa tímaflækjum reikniritana með þessum breytum.
- Ég mun einnig leyfa mér að nota V í stað $|V|$ og E í stað $|E|$, því þetta ætti aldrei valda ruglningi.
- Sem dæmi skrifa ég frekar $\mathcal{O}(E + V)$ í stað $\mathcal{O}(|E| + |V|)$.

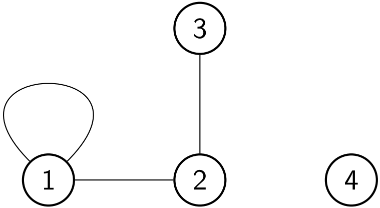
- Oft hjálpar að skilja tiltekið net með því að teikna það.

- Oft hjálpar að skilja tiltekið net með því að teikna það.
- Við byrjum á að teikna punkta fyrir nóðurnar.

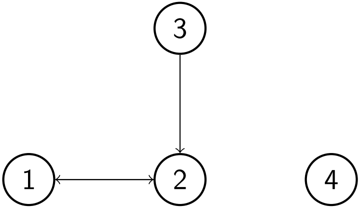
- Oft hjálpar að skilja tiltekið net með því að teikna það.
- Við byrjum á að teikna punkta fyrir nóðurnar.
- Ef netið er óstefnt teiknum við svo línu á milli nágranna (svo hver lína svarar til leggs).

- Oft hjálpar að skilja tiltekið net með því að teikna það.
- Við byrjum á að teikna punkta fyrir nóðurnar.
- Ef netið er óstefnt teiknum við svo línu á milli nágranna (svo hver lína svarar til leggs).
- Ef netið er stefnt þá teiknum við ör í stað línu.

- Oft hjálpar að skilja tiltekið net með því að teikna það.
- Við byrjum á að teikna punkta fyrir nóðurnar.
- Ef netið er óstefnt teiknum við svo línu á milli nágranna (svo hver lína svarar til leggs).
- Ef netið er stefnt þá teiknum við ör í stað línu.
- Leggur (u, v) er þá táknaður með ör frá nóðu u til nóðu v.



- Hér má sjá teikningu sem svarar til $E = \{1, 2, 3, 4\}$ og $V = \{(1, 1), (1, 2), (2, 1), (2, 3), (3, 2)\}$.



- Hér má sjá teikningu sem svarar til $E = \{1, 2, 3, 4\}$ og $V = \{(1, 2), (2, 1), (3, 2)\}$.

- Leggir af gerðinni (u, u) kallast *lykkjur* (ástæða nafngiftarinnar sést að fyrri myndinni).

- Leggir af gerðinni (u, u) kallast *lykkjur* (ástæða nafngiftarinnar sést að fyrri myndinni).
- Net án leggja kallast *einfalt*.

- Leggir af gerðinni (u, u) kallast *lykkjur* (ástæða nafngiftarinnar sést að fyrri myndinni).
- Net án leggja kallast *einfalt*.
- Í umfjöllun okkar gerum við ráð fyrir að öll net séu einföld nema annað sé tekið fram.

- Runa nóða $v_1, v_2, ..., v_n$ kallast *vegur* ef $(v_j, v_{j+1}) \in E$, fyrir $j = 1, 2, ..., n-1$.

- Runa nóða $v_1, v_2, ..., v_n$ kallast *vegur* ef $(v_j, v_{j+1}) \in E$, fyrir $j = 1, 2, ..., n - 1$.
- Vegur kallast *rás* ef $v_1 = v_n$.

- Runa nóða $v_1, v_2, ..., v_n$ kallast *vegur* ef $(v_j, v_{j+1}) \in E$, fyrir $j = 1, 2, ..., n-1$.
- Vegur kallast *rás* ef $v_1 = v_n$.
- Vegur kallast *einfaldur* ef engar tvær nóður í $v_1, v_2, ..., v_n$ eru eins.

- Runa nóða $v_1, v_2, ..., v_n$ kallast *vegur* ef $(v_j, v_{j+1}) \in E$, fyrir $j = 1, 2, ..., n-1$.
- Vegur kallast *rás* ef $v_1 = v_n$.
- Vegur kallast *einfaldur* ef engar tvær nóður í $v_1, v_2, ..., v_n$ eru eins.
- Rás kallast *einföld* ef engar tvær nóður í $v_1, v_2, ..., v_{n-1}$ eru eins.

- Runa nóða $v_1, v_2, ..., v_n$ kallast *vegur* ef $(v_j, v_{j+1}) \in E$, fyrir $j = 1, 2, ..., n-1$.
- Vegur kallast *rás* ef $v_1 = v_n$.
- Vegur kallast *einfaldur* ef engar tvær nóður í $v_1, v_2, ..., v_n$ eru eins.
- Rás kallast *einföld* ef engar tvær nóður í $v_1, v_2, ..., v_{n-1}$ eru eins.
- Við segjum að vegurinn $v_1, v_2, ..., v_n$ *liggi á milli nóðanna* v_1 *og* v_n.

- Runa nóða $v_1, v_2, \ldots, v_n$ kallast *vegur* ef $(v_j, v_{j+1}) \in E$, fyrir $j = 1, 2, \ldots, n-1$.
- Vegur kallast *rás* ef $v_1 = v_n$.
- Vegur kallast *einfaldur* ef engar tvær nóður í $v_1, v_2, \ldots, v_n$ eru eins.
- Rás kallast *einföld* ef engar tvær nóður í $v_1, v_2, \ldots, v_{n-1}$ eru eins.
- Við segjum að vegurinn $v_1, v_2, \ldots, v_n$ *liggi á milli nóðanna* v_1 *og* v_n.
- Óstefnt net er sagt vera *samanhangandi* ef til er vegur milli sérhverja tveggja nóða.

- Runa nóða $v_1, v_2, \ldots, v_n$ kallast *vegur* ef $(v_j, v_{j+1}) \in E$, fyrir $j = 1, 2, \ldots, n-1$.
- Vegur kallast *rás* ef $v_1 = v_n$.
- Vegur kallast *einfaldur* ef engar tvær nóður í $v_1, v_2, \ldots, v_n$ eru eins.
- Rás kallast *einföld* ef engar tvær nóður í $v_1, v_2, \ldots, v_{n-1}$ eru eins.
- Við segjum að vegurinn $v_1, v_2, \ldots, v_n$ *liggi á milli nóðanna v_1 og v_n*.
- Óstefnt net er sagt vera *samanhangandi* ef til er vegur milli sérhverja tveggja nóða.
- Óstefnt net er sagt vera *tré* ef það er samanhangandi og inniheldur enga rás.

Framsetning neta í tölvum

- Það er engin stöðluð leið til að geyma net í minni.

Framsetning neta í tölvum

- Það er engin stöðluð leið til að geyma net í minni.
- Yfirleitt er notað eina af þremur gagnagrindum:

Framsetning neta í tölvum

- Það er engin stöðluð leið til að geyma net í minni.
- Yfirleitt er notað eina af þremur gagnagrindum:
  - Leggjalista.

Framsetning neta í tölvum

- Það er engin stöðluð leið til að geyma net í minni.
- Yfirleitt er notað eina af þremur gagnagrindum:
  - Leggjalista.
  - Nágrannafylki.

Framsetning neta í tölvum

- Það er engin stöðluð leið til að geyma net í minni.
- Yfirleitt er notað eina af þremur gagnagrindum:
  - Leggjalista.
  - Nágrannafylki.
  - Nágrannalista (algengust).

Leggjalisti

- Látum $G = (E, V)$ tákna netið okkar.

Leggjalisti

- Látum $G = (E, V)$ tákna netið okkar.
- Þar sem E er endanlegt megum við gera ráð fyrir að $E = \{1, 2, ..., n\}$, þar sem n er fjöldi nóða í G.

Leggjalisti

- Látum $G = (E, V)$ tákna netið okkar.
- Þar sem E er endanlegt megum við gera ráð fyrir að $E = \{1, 2, ..., n\}$, þar sem n er fjöldi nóða í G.
- Látum m vera fjölda leggja í G.

Leggjalisti

- Látum $G = (E, V)$ tákna netið okkar.
- Þar sem E er endanlegt megum við gera ráð fyrir að $E = \{1, 2, ..., n\}$, þar sem n er fjöldi nóða í G.
- Látum m vera fjölda leggja í G.
- Listi af tvenndum sem inniheldur nákvæmlega sömu stök og V kallast *leggjalisti* netsins G.

Leggjalisti

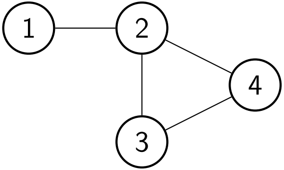
- Látum $G = (E, V)$ tákna netið okkar.
- Þar sem E er endanlegt megum við gera ráð fyrir að $E = \{1, 2, ..., n\}$, þar sem n er fjöldi nóða í G.
- Látum m vera fjölda leggja í G.
- Listi af tvenndum sem inniheldur nákvæmlega sömu stök og V kallast *leggjalisti* netsins G.
- Við notum leggjalist sjaldan, en það kemur fyrir (til dæmis í reikniriti Kruskals).

Leggjalisti

- Látum $G = (E, V)$ tákna netið okkar.
- Þar sem E er endanlegt megum við gera ráð fyrir að $E = \{1, 2, ..., n\}$, þar sem n er fjöldi nóða í G.
- Látum m vera fjölda leggja í G.
- Listi af tvenndum sem inniheldur nákvæmlega sömu stök og V kallast *leggjalisti* netsins G.
- Við notum leggjalist sjaldan, en það kemur fyrir (til dæmis í reikniriti Kruskals).
- Net í dæmum í keppnisforritun eru þó oftast gefin með leggja lista.

Leggjalisti

- Látum $G = (E, V)$ tákna netið okkar.
- Þar sem E er endanlegt megum við gera ráð fyrir að $E = \{1, 2, ..., n\}$, þar sem n er fjöldi nóða í G.
- Látum m vera fjölda leggja í G.
- Listi af tvenndum sem inniheldur nákvæmlega sömu stök og V kallast *leggjalisti* netsins G.
- Við notum leggjalist sjaldan, en það kemur fyrir (til dæmis í reikniriti Kruskals).
- Net í dæmum í keppnisforritun eru þó oftast gefin með leggja lista.
- Í óstefndum netum er hver leggur tvítekinn í E og við leyfum okkur að sleppa annari endurtekningunni í listanum.



$$L = [$$

$$(1,2),$$

$$(2,3),$$

$$(2,4),$$

$$(3,4)$$

$$]$$

- Helsti galli leggjalistans er að það tekur $\mathcal{O}(\quad)$ tíma að ákvarða hvort nóður séu nágrannar eða finna nágranna tilteknar nóðu.

- Helsti galli leggjalistans er að það tekur $\mathcal{O}(m)$ tíma að ákvarða hvort nóður séu nágrannar eða finna nágranna tilteknar nóðu.

Nágrannafylki

- Látum A vera $n \times n$ fylki þannig að $A_{uv} = 1$ ef (u, v) er í E, en $A_{uv} = 0$ annars.

Nágrannafylki

- Látum A vera $n \times n$ fylki þannig að $A_{uv} = 1$ ef (u, v) er í E, en $A_{uv} = 0$ annars.
- Við köllum A nágrannafylki netsins G.

Nágrannafylki

- Látum A vera $n \times n$ fylki þannig að $A_{uv} = 1$ ef (u, v) er í E, en $A_{uv} = 0$ annars.
- Við köllum A nágrannafylki netsins G.
- Takið eftir að það tekur $\mathcal{O}(\quad)$ tíma að upphafsstilla A.

Nágrannafylki

- Látum A vera $n \times n$ fylki þannig að $A_{uv} = 1$ ef (u, v) er í E, en $A_{uv} = 0$ annars.
- Við köllum A nágrannafylki netsins G.
- Takið eftir að það tekur $\mathcal{O}(n^2)$ tíma að upphafsstilla A.

Nágrannafylki

- Látum A vera $n \times n$ fylki þannig að $A_{uv} = 1$ ef (u, v) er í E, en $A_{uv} = 0$ annars.
- Við köllum A nágrannafylki netsins G.
- Takið eftir að það tekur $\mathcal{O}(n^2)$ tíma að upphafsstilla A.
- Svo þessi aðferð er alferið of hæg ef, til dæmis, $n = 10^5$ (sem er oft raunin).

Nágrannafylki

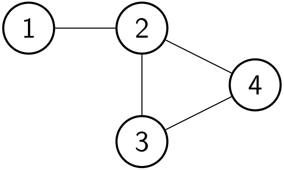
- Látum A vera $n \times n$ fylki þannig að $A_{uv} = 1$ ef (u, v) er í E, en $A_{uv} = 0$ annars.
- Við köllum A nágrannafylki netsins G.
- Takið eftir að það tekur $\mathcal{O}(n^2)$ tíma að upphafsstilla A.
- Svo þessi aðferð er alferið of hæg ef, til dæmis, $n = 10^5$ (sem er oft raunin).
- Þegar n er nógu lítið eru nágrannafylki nytsamleg því við getum ákvarðað hvort tvær nóður séu nágrannar í $\mathcal{O}(\quad)$ tíma.

Nágrannafylki

- Látum A vera $n \times n$ fylki þannig að $A_{uv} = 1$ ef (u, v) er í E, en $A_{uv} = 0$ annars.
- Við köllum A nágrannafylki netsins G.
- Takið eftir að það tekur $\mathcal{O}(n^2)$ tíma að upphafsstilla A.
- Svo þessi aðferð er alferið of hæg ef, til dæmis, $n = 10^5$ (sem er oft raunin).
- Þegar n er nógu lítið eru nágrannafylki nytsamleg því við getum ákvarðað hvort tvær nóður séu nágrannar í $\mathcal{O}(1)$ tíma.

Nágrannafylki

- Látum A vera $n \times n$ fylki þannig að $A_{uv} = 1$ ef (u, v) er í E, en $A_{uv} = 0$ annars.
- Við köllum A nágrannafylki netsins G.
- Takið eftir að það tekur $\mathcal{O}(n^2)$ tíma að upphafsstilla A.
- Svo þessi aðferð er alferið of hæg ef, til dæmis, $n = 10^5$ (sem er oft raunin).
- Þegar n er nógu lítið eru nágrannafylki nytsamleg því við getum ákvarðað hvort tvær nóður séu nágrannar í $\mathcal{O}(1)$ tíma.
- Einnig hefur A^p (fylkjamargföldun) hefur einnig áhugaverða talningarfræðilega merkingu sem við skoðum síðar.



$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Nágrannalistar

- Látum nú V tákna lista af n listum.

Nágrannalistar

- Látum nú V tákna lista af n listum.
- Táknum j-ta lista V með V_j.

Nágrannalistar

- Látum nú V tákna lista af n listum.
- Táknum j-ta lista V með V_j.
- Látum nú V_u innihalda alla nágranna nóðunnar u í netinu G, án endurtekningar.

Nágrannalistar

- Látum nú V tákna lista af n listum.
- Táknum j-ta lista V með V_j.
- Látum nú V_u innihalda alla nágranna nóðunnar u í netinu G, án endurtekningar.
- Við köllum V *nágrannalista* (fleirtölu) netsins G og V_u *nágrannalista* (eintölu) nóðunnar u í netinu G.

Nágrannalistar

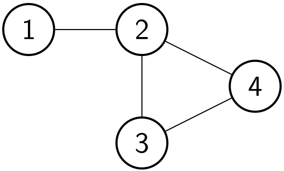
- Látum nú V tákna lista af n listum.
- Táknum j-ta lista V með V_j.
- Látum nú V_u innihalda alla nágranna nóðunnar u í netinu G, án endurtekningar.
- Við köllum V *nágrannalista* (fleirtölu) netsins G og V_u *nágrannalista* (eintölu) nóðunnar u í netinu G.
- Helsti kostur nágrannalistanna er að við getum skoðað alla nágranna tiltekinnar nóðu án þess að skoða neitt annað.

Nágrannalistar

- Látum nú V tákna lista af n listum.
- Táknum j-ta lista V með V_j.
- Látum nú V_u innihalda alla nágranna nóðunnar u í netinu G, án endurtekningar.
- Við köllum V *nágrannalista* (fleirtölu) netsins G og V_u *nágrannalista* (eintölu) nóðunnar u í netinu G.
- Helsti kostur nágrannalistanna er að við getum skoðað alla nágranna tiltekinnar nóðu án þess að skoða neitt annað.
- Við getum því ítrað í gegnum alla nágranna alla nóðanna í $\mathcal{O}(\quad)$ tíma, óháð röð nóðanna.

Nágrannalistar

- Látum nú V tákna lista af n listum.
- Táknum j-ta lista V með V_j.
- Látum nú V_u innihalda alla nágranna nóðunnar u í netinu G, án endurtekningar.
- Við köllum V *nágrannalista* (fleirtölu) netsins G og V_u *nágrannalista* (eintölu) nóðunnar u í netinu G.
- Helsti kostur nágrannalistanna er að við getum skoðað alla nágranna tiltekinnar nóðu án þess að skoða neitt annað.
- Við getum því ítrað í gegnum alla nágranna alla nóðanna í $\mathcal{O}(m)$ tíma, óháð röð nóðanna.
- Þetta kemur að góðum notum þegar við erum að ferðast í gegnum netið.



$$
\begin{aligned}
L = [\\
&[2] \\
&[1, 3, 4] \\
&[2, 4] \\
&[2, 3] \\
]
\end{aligned}
$$

- Eins minnst var á áðan eru net yfirleitt gefin með leggjalista, en við vinnum yfirleitt með nágrannalista.

- Eins minnst var á áðan eru net yfirleitt gefin með leggjalista, en við vinnum yfirleitt með nágrannalista.
- Til að breyta á milli látum nágrannalistann okkar vera af tagi `vector<vector<int>>`.

- Eins minnst var á áðan eru net yfirleitt gefin með leggjalista, en við vinnum yfirleitt með nágrannalista.
- Til að breyta á milli látum nágrannalistann okkar vera af tagi `vector<vector<int>>`.
- Við upphafsstillum hann með n tómum listum.

- Eins minnst var á áðan eru net yfirleitt gefin með leggjalista, en við vinnum yfirleitt með nágrannalista.
- Til að breyta á milli látum nágrannalistann okkar vera af tagi `vector<vector<int>>`.
- Við upphafsstillum hann með n tómum listum.
- Við lesum svo í gegnum alla leggina og bætum í viðeigandi nóðum í tilheyrandi nágrannalista.

- Eins minnst var á áðan eru net yfirleitt gefin með leggjalista, en við vinnum yfirleitt með nágrannalista.
- Til að breyta á milli látum nágrannalistann okkar vera af tagi `vector<vector<int>>`.
- Við upphafsstillum hann með n tómum listum.
- Við lesum svo í gegnum alla leggina og bætum í viðeigandi nóðum í tilheyrandi nágrannalista.
- Ef leggur (u, v) er í leggjalista stefnts nets þá bætum við v við V_u.
- Ef leggur (u, v) er í leggjalista óstefnts nets þá bætum við v við V_u og u við V_v.

```cpp
#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
typedef vector<int> vi;
typedef vector<vi> vvi;

// Fyrsta lína inntaksins eru tvær heiltölur, fjöldi nóða og fjöldi leggja.
// Síðan koma m línur sem svara til leggjalistans.
int main()
{
    int i, j, n, m;
    cin >> n >> m;
    vvi g(n);
    for (i = 0; i < m; i++)
    {
        int x, y;
        cin >> x >> y;
        x--, y--;
        g[x].push_back(y);
        g[y].push_back(x); // Sleppa þesari línu ef netið er stefnt.
    }
    for (i = 0; i < n; i++)
    {
        printf("%d: ", i + 1);
        for (j = 0; j < g[i].size(); j++) printf("%d ", g[i][j] + 1);
        printf("\n");
    }
    return 0;
}
```